UEBER

DIE PHYSIOLOGISCHEN WIRKUNGEN

DES

STICKOXYDULGASES.

VON

MARTIN GOLTSTEIN,

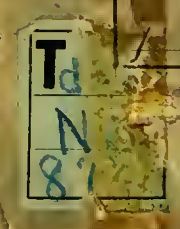
GENF.

MIT 5 LITHOGRAPHIRTEN TAFELN.

BONN,

EMIL STRAUSS.

1878.



UEBER

DIE PHYSIOLOGISCHEN WIRKUNGEN

DES

STICKOXYDULGASES.

VON

MARTIN GOLTSTEIN,
GENF.

MIT 5 LITHOGRAPHIRTEN TAFELN.

BONN,
EMIL STRAUSS.
1878.

In Folgendem gebe ich die Resultate von in den letzten Jahren ausgeführten experimentellen und praktischen Untersuchungen über Stickoxydul. Da zum Theil recht gute Beobachtungen von Praktikern veröffentlicht sind, glaubte ich mich in dieser Beziehung sehr kurz fassen zu sollen; man findet daher in der folgenden Abhandlung hauptsächlich die experimentellen Ergebnisse berücksichtigt, welche in dem, unter Leitung des Herrn Prof. N. Zuntz in Bonn stehenden, thierphysiologischen Laboratorium der Landwirthschaftlichen Akademie Poppelsdorf gewonnen wurden.

Die Arbeit ist bereits in Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. XVII veröffentlicht.

Herrn Prof. Zuntz bin ich für Anleitung und thätige Beihülfe zu höchstem Danke verpflichtet.

Bonn, im Juni 1878.

M. Goltstein.

Seit Davy das 1776 von Priestley entdeckte Stickoxydulgas chemisch untersuchte und sich an seiner berauschenden Wirkung ergötzte[1], ist diese letztere den Chemikern bekannt. — Der erste Versuch das Stickoxydulgas als Anaestheticum zu chirurgischen Zwecken zu verwenden, fällt in das Jahr 1844[2]; also zwei Jahre ehe Morton die erste Aethernarcose einleitete. — Gegenüber dem mächtigen Eindrucke, den die Anwendung des Aethers und Chloroforms in der ganzen Welt hervorbrachte, wurden die Versuche von Wells wieder vergessen.

Erst nachdem die zunehmende Häufigkeit der Todesfälle in Folge Gebrauchs der beiden eben genannten Anästhetica den Wunsch nach weniger gefährlichen Mitteln, zur Erreichung der den Aerzten wie den Patienten gleich unentbehrlich gewordenen Schmerzlosigkeit geweckt hatte, wandte sich die Aufmerksamkeit auch dem Stickoxydul wieder zu. Im Jahre 1863 machte Colton

---

1) The Researches, Chemical and Philosophical, chiefly concerning Nitrous Oxide and its Inspirations 1800.

2) In einer öffentlichen Vorlesung des Chemikers Colton zu Hartford, Conn. liess dieser mehrere Personen das Gas zum Zwecke der Berauschung einathmen, wobei der anwesende Zahnarzt Horace Wells seine anästhetischen Eigenschaften entdeckte. Letzterer wandte es darnach vielfach an, jedoch scheiterten seine Bemühungen es allgemeiner einzuführen.

intensivere Anstrengungen dasselbe einzuführen und zwar nunmehr mit bestem Erfolg. Bis heute sind, einer mündlichen Mittheilung durch Herrn Dr. J. B. Rottenstein in Paris zufolge, in Coltons anästhetischem Institute in New-York über 104000 Stickoxydul-Narcosen ohne Unfall eingeleitet worden.

Seitdem hat der Gebrauch des Mittels sich in ungemein rascher Proportion vermehrt und ist heute gar nicht mehr zu schätzen wie viel Narcosen ausser den Hunderttausenden, über die genaue Statistiken vorliegen, von den Tausenden von Zahnärzten, die das Mittel täglich anwenden, eingeleitet worden sind[1]).

Nachdem am 31. März 1868 die erste Zahnextraction mit Stickoxydul im Dental Hospital of London stattgefunden[2]), konnte das zur Untersuchung des Narcoticums niedergesetzte Comite der Odontological Society of Great Britain seinen zweiten Bericht von Ende 1872 bereits auf 58000 von ihm in England registrirte Narcosen stützen.

Grohnwald in Berlin referirt in der deutschen Vierteljahrsschrift für Zahnheilkunde, Januar 1877. p. 31, über mehr als 10000 von ihm eingeleitete Narcosen, Telschow in Berlin in einer vor etwa einem Jahre veröffentlichten Flugschrift über 12000. Fr. R. Thomas berichtet 1870, er habe das Gas in den letzten 4 Jahren 15800 mal angewandt.

Mehrere Todesfälle[3]) sind in dieser Zeit beim Gebrauche des Gases vorgekommen, und wenn auch das Bestreben der eifrigen Anhänger des Mittels, diese auf zufällige Complicationen (Eintritt fremder Körper in die Trachea, hochgradige Schwäche der im letzten Stadium der Phthise befindlichen Personen etc.) zurückzuführen, in einigen Fällen berechtigt erscheint, so bleibt doch die Thatsache unläugbar, dass mehrmals der Tod direct durch das Anaestheticum herbeigeführt worden ist. Berücksichtigt man die Häufigkeit der Anwendung, so scheint allerdings Stickoxydul weit weniger gefährlich als Chloroform zu sein. Dass Todesfälle verschwiegen worden seien, erscheint deshalb unwahrscheinlich,

1) In den Ver. Staaten gibt es über 12000 approbirte Zahnärzte, von denen ein sehr grosser Bruchtheil das Gas anwendet.

2) Dr. Evans in Paris hat das Verdienst, das Gas hier eingeführt zu haben. Durch Ueberweisung von Geldmitteln (100 £) veranlasste er dann die von dem erwähnten Comite ausgeführten Untersuchungen.

3) In der Literatur sind 7 bekannt geworden.

weil dergleichen Ereignisse stets das grösste Aufsehen erregen. — Jedenfalls machen beide Umstände, die Häufigkeit der Anwendung und die unläugbar damit verbundene Gefahr, eine genaue wissenschaftliche Erforschung der Wirkungsweise des Stickoxyduls zu einer dringenden Forderung. —

Auffallender Weise haben sich die Pharmakologen mit dem Mittel kaum noch beschäftigt. In dem ziemlich umfangreichen Handbuche von Koehler z. B. ist es ganz übergangen [1]). Die einzigen experimentellen Arbeiten von Bedeutung sind die Untersuchungen von Ludimar Hermann (Reichert und du Bois Arch. 1864) und Tony Blanche (Recherches experimentales sur le protoxide d'azote, Paris, 1874). Hermann wies, entgegen der noch heute hier und da spukenden Ansicht, dass das Stickoxydul wie bei vielen Verbrennungen so auch beim thierischen Oxydationsprocess den Sauerstoff der Luft ersetzen könne, unzweifelhaft nach, dass ein Thier durch Stickoxydul eben so rasch, wie durch irgend ein indifferentes Gas erstickt wird und stellte in Folge dessen die Narcose bei Einathmung von reinem Stickoxydul mit Asphyxie auf eine Stufe. Daneben constatirte allerdings Hermann, dass das Gas mit hinreichender Menge Sauerstoff gemischt eingeathmet, ohne Dyspnoe zu erzeugen beim Menschen gewisse rauschähnliche Erscheinungen, verbunden mit etwas herabgesetzter Sensibilität hervorruft. — Bis zur Anaesthesie steigerte sich die Narcose, so lange Sauerstoff genug vorhanden war, niemals. — Bei Thieren gelang es Hermann überhaupt nicht durch Einathmung solcher Mischungen von Sauerstoff und Stickoxydul irgend ein Zeichen, dass dieselben anders wirkten als atmosphärische Luft, zu erzielen.

---

1) Beim Schlusse dieser Abhandlung erhalten wir das eben erschienene Handbuch der Arzneimittellehre von Nothnagel und Rossbach, in welchem die Bedeutung des Stickoxyduls vollkommen gewürdigt wird und einige Versuche von Rossbach mitgetheilt werden, wonach unter der Einwirkung des Stickoxyduls der Blutdruck stark steige, die Herzschläge verlangsamt, aber verstärkt seien. Besondere Aufmerksamkeit richtete Rossbach auf die Wiederbelebung der durch N_2O asphyctisch gemachten Thiere. Dieselbe gelang ihm noch 2—5 Min. nach dem Herzstillstande. Wir haben hierzu nur zu bemerken, dass uns die Wiederbelebung so spät nicht immer gelang, dass ferner die Blutdruckssteigerung nicht bedeutend ist, manchmal fehlt, und dass wir Krämpfe nur in sehr geringem Maasse und schwächer als bei einfacher Erstickung beobachteten.

Die Meinung, dass bei seinem Gebrauche Anästhesie nur durch Herbeiführung eines asphyctischen Zustandes zu Stande komme, veranlasste Hermann das Stickoxydul als Anästheticum zu verwerfen und hat er sich noch in zwei besonderen Aufsätzen (Comptes rendus Bd. 64. pag. 227. Berliner klinische Wochenschr. 1866. No. 11. pag. 115) warnend gegen dessen Anwendung ausgesprochen. — Die Resultate von Hermann sind durch Blanche bestätigt worden und hat dieser noch die interessante Thatsache zugefügt, dass auch das Keimen der Pflanzensamen in Stickoxydul nicht vor sich geht. — Eine von Blanche ausgeführte Analyse der Blutgase eines $N_2O + O$ athmenden Hundes zeigt, dass diese sich verhalten, wie man es nach den physicalischen Gesetzen der Absorption erwarten musste und dass namentlich N_2O auf den Gehalt des Blutes an O und CO_2 keinen directen Einfluss übt.

Folgendes sind die von diesem Forscher gefundenen Zahlen für das arterielle Blut eines Hundes.

I. normal athmend

48,8 % CO_2, 21,11 % O, 2 % N

II. nachdem er 7 ½ Minuten ein Gemisch von

62 % N_2O, 21 % O, 17 % N

geathmet hatte:

46,0 % CO_2 17,7 % O, 0,3 % N, 29,0 % N_2O. —

Gegen die von Hermann ausgesprochene unbedingte Verwerfung der Stickoxydul-Narcose spricht entschieden die durch die Wucht der Zahlen imponirende praktische Erfahrung. Dennoch bleibt es ein Mangel, dass diese Erfahrung der streng wissenschaftlichen Begründung bis heute entbehrt und dass namentlich das Verhalten der nervösen Centra, welche den wichtigsten vegetativen Funktionen, Athmung und Kreislauf, vorstehen, noch vollkommen unerforscht ist. Dem Bestreben diese Lücke auszufüllen ist der Haupttheil der im Folgenden zu berichtenden Experimentaluntersuchung gewidmet. —

Daneben glaubte ich mich mit der von Hermann wie von Blanche verneinten Frage, ob Stickoxydul im Körper gespalten und sein Sauerstoff verwerthet werden könne, nochmals beschäftigen zu müssen. Dass Stickoxydul das Leben nicht unterhalten könne, stand fest, nicht sicher bewiesen war, ob nicht eine geringe, aber zur Unterhaltung des Lebens weitaus unzureichende Zersetzung desselben stattfinde.

Der Nachweis einer solchen hätte für die Physiologie entschieden grosses Interesse. Bekanntlich hat Pflüger[1]) gezeigt, dass wir zum Verständniss gewisser Lebensvorgänge die Anwesenheit sehr lebhafter moleeularer Bewegungen (grosser Hitze) an bestimmten Punkten der organisirten Gewebe annehmen müssen. Diese Bewegungen könnten sehr wohl so lebhaft sein, dass sie ähnlich einer glühenden Kohle das an diese Stelle diffundirte N_2O zersetzten. — So würde also der Nachweis einer selbst geringen Zersetzung von N_2O eine interessante Stütze jener oben citirten Theorie sein. Ich habe mich deshalb bemüht, bei Thieren, die längere Zeit Gemische von $O + N_2O$ athmeten, zu constatiren, ob ein Theil des letzteren Gases verschwindet und Stickstoff dafür zum Vorschein kommt. Diese Untersuchung erwies sich übrigens bald als mit ungemeinen Schwierigkeiten verknüpft, weshalb ich ein entscheidendes Resultat noch nicht mittheilen kann. Die Schwierigkeiten liegen einmal darin, dass in Folge des hohen Absorptionscoëfficienten sehr grosse Mengen des eingeathmeten N_2O in den Säften des Thieres absorbirt zurückgehalten werden, weiter darin, dass jede Undichtigkeit der Apparate, welche Luft eindringen lässt, eine Stickstoffexhalation seitens des Thieres vortäuscht, endlich, und nicht am wenigsten, in den Unvollkommenheiten der gasometrischen Analyse.

Die scheinbar so einfache Methode in einem Gemenge von N und N_2O den Gehalt an letzterem Gase durch Verpuffung mit überschüssigem Wasserstoff nachzuweisen (wobei 2 Vol. N_2O, indem sich ihr Sauerstoff mit 2 H zu Wasser verbindet, 2 N übrig lassen und also die aus der Wasserbildung resultirende Contraction nach der Verbrennung dem Volum des vorhandenen N_2O gleich ist), erwies sich leider als höchst ungenau.

Man beobachtet, auch wenn ziemlich grosser Ueberschuss von H vorhanden war, nach der Explosion Nebel im Eudiometer; das Quecksilber wird angegriffen. Entsprechend diesen Zeichen von Salpetersäurebildung bleibt der aus der Contraction berechnete Gehalt an N_2O hinter dem wirklichen oft bedeutend zurück. —

Nachdem ich durch mühsame Versuche diese Thatsache constatirt hatte, fand ich in dem oben citirten Comitebericht, dass

---

1) Die physiologische Verbrennung in den lebenden Organismen. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. X, S. 251.

der in Gasanalysen so sehr bewanderte Frankland, eines der Mitglieder jenes Comites, dieselben Erfahrungen bereits gemacht und in Folge dessen sogar darauf verzichtet hatte den Gehalt an N_2O in Gasgemischen absolut genau zu bestimmen[1]). Auch er wollte entscheiden, ob, wenn einem Thiere längere Zeit N_2O mit der übrigens sauerstoffreichen Athemluft zugeführt wird, dieses Gas zum Theil zersetzt wird und dafür N zum Vorschein kommt. Er liess ein kleines Kaninchen unter einer von den nöthigen Zuleitungsröhren durchbohrten Glasglocke ein Gemisch von Sauerstoff, Stickstoff und Stickoxydul athmen und entnahm von Zeit zu Zeit Proben des Gases zur Analyse. Die Aenderungen des Gehalts des Gasgemisches an N und N_2O waren unbedeutend und wagt es Frankland selbst nicht, einen entscheidenden Schluss daraus zu ziehen, namentlich auch wegen der eben geschilderten Ungenauigkeit der Gasanalyse. Ebenso unentschieden blieben die Versuche von Coleman, welcher zur Entscheidung derselben Frage die Expirationsluft von Menschen, die möglichst luftfreies N_2O athmeten, untersuchte. Dass die älteren Versuche von Davy in dieser Hinsicht nicht beweisend seien, hat L. Hermann[2]) zur Genüge gezeigt.

Von unseren eigenen Untersuchungen sind die ersten wegen des oben auseinandergesetzten Fehlers der Gasanalyse ungenau. Erst ganz zuletzt lernte ich diese fehlerfrei anstellen, indem ich auf den Gebrauch des Eudiometers verzichtete und nach der von R. Bunsen ausgebildeten und für einzelne Fälle empfohlenen absorptiometrischen Methode analysirte[3]). Bei dieser Methode wird bekanntlich ein abgemessenes Gasvolum mit einer bekannten Menge ausgekochten destillirten Wassers bis zur Sättigung über Quecksilber in einem calibrirten Rohre (Absorptiometer) geschüttelt, und aus der bei bestimmter Temperatur und Druck absorbirten Gasmenge, mit Hülfe der von Bunsen genau bestimmten Absorptionscoëfficienten der in Frage kommenden Gase, der Gehalt

1) Demgegenüber müssen die Analysen von Blanche umsomehr mit Misstrauen angesehen werden, da er ausdrücklich angibt, so kleine H-Ueberschüsse angewandt zu haben, dass die Eudiometer ihm häufig zersprangen.

2) Reichert und du Bois' Archiv 1864. p. 533.

3) S. Robert Bunsen: gasometrische Methoden S. 183 ff., 2. Aufl. (1877) S. 240 ff.

des Gemisches an jedem derselben berechnet. Diese Methode ist in unserem Falle deshalb recht genau, weil das eine der beiden Gase (N_2O) einen hohen, das andere (N) einen geringen Absorptionscoëfficienten hat. Der etwa vorhandene Sauerstoff wird vorher in bekannter Weise durch Absorption mit Kaliumpyrogallat ermittelt und dann das Gemisch von N und N_2O in's Absorptiometer übergefüllt; hier werden nun mehrere Absorptionsbestimmungen bei verschiedenen Temperaturen und Drucken aufgeführt, aus jeder nach den einfachen von Bunsen entwickelten Formeln die Zusammensetzung des Gasgemisches berechnet und dann aus den verschiedenen Zahlen, die höchstens um 0,5 % variirten, das Mittel genommen.

Mittelst dieser Methoden wurden zunächst einige Versuche an Fröschen angestellt. Die Thiere befanden sich in einem Glascylinder, dessen Oeffnung nach Einsetzung der Thiere mit einem von 2 Glasröhren durchbohrten Kork geschlossen wurde. Kork und Glasröhren tauchten bis jenseits der absperrenden Hähne in das Quecksilber einer grossen Wanne, so dass jede Diffusion mit der Atmosphäre unmöglich war. Jetzt wurde zunächst stundenlang reines Sauerstoffgas durchgeleitet. Das Gas trat aus der mit chlorsaurem Kali gefüllten Retorte durch eine Waschflasche direct in den Froschbehälter. Nachdem man so sicher sein konnte, dass weder im Apparat noch in den Thieren Stickstoff übrig war, wurde ein Theil des Sauerstoffs durch Stickoxydul verdrängt und jetzt die Thiere 12 Stunden lang sich selbst überlassen. Das nach dieser Zeit entnommene Gas war stickstoffhaltig. Nachträglich stellte sich leider heraus, dass das käufliche comprimirte Stickoxydul, welches wir bei diesen Versuchen anwandten, nicht ganz luftfrei war, ein Umstand, der deshalb uns sehr überraschend kam, weil das Gas in der eisernen Flasche entschieden flüssig war und bereits bedeutende Quantitäten desselben herausgelassen waren.

Die Analysen ergaben einen Gehalt von 0,25 % O und circa 5 mal so viel Stickstoff[1]). Es ist dies Ergebniss nur verständlich,

---

1) Die später zu beschreibenden Versuche am Kaninchen sind mit demselben comprimirten Gase angestellt. Auch hier also erhielten die Thiere das Gas gemengt mit circa 0,25 % O. Uebrigens haben wir uns sowohl bei Hunden wie bei Kaninchen überzeugt, dass die Erstickung durch solche geringe Sauerstoffmengen weder in ihrem zeitlichen Verlaufe noch in irgend einer

wenn man annimmt, dass das flüssige Stickoxydul erhebliche Mengen Luft absorbiren kann. — Nach diesen Erfahrungen können wir auch diesen Versuchen keine Beweiskraft zuerkennen. Als wir den Fehler entdeckten war eine Wiederholung der Versuche, wozu manche Aenderungen am Apparate erforderlich waren, nicht mehr thunlich. —

Da die, wenn überhaupt vorhandene, jedenfalls sehr geringe Stickoxydulzersetzung nur bei Anwendung der allerhöchsten Cautelen nachweisbar ist, sind auch eine Anzahl am Kaninchen angestellter Versuche zweideutig geblieben und muss ich mir deshalb die definitive Beantwortung der Frage, ob der thierische Organismus N_2O zersetzen könne, vorbehalten.

Jene am Kaninchen angestellten Versuche brachten aber eine andere interessante Thatsache an's Licht, wegen deren ich hier auf dieselben etwas ausführlicher zurückkommen muss.

Die Thiere athmeten bei den Versuchen ein vorher analysirtes Gemisch aus dem Roehrig-Zuntz'schen Respirationsapparate[1]), welcher mit den Verbesserungen, die Pflüger an ihm angebracht und Finkler und Oertmann[2]) beschrieben haben, versehen war. Bei diesem Apparate athmet das Thier bekanntlich aus einem kalibrirten Quecksilber-Spirometer ein und aus. Die respirirte Luft streicht durch 4 Müller'sche Spritzflaschenventile, welche mit starker Natronlauge gefüllt sind und die producirte Kohlensäure absorbiren. Der Apparat gestattet vermöge dieser Einrichtung in jedem Momente die durch die Athmung erzeugte Verminderung des Gasvolums abzulesen. Die Athemfrequenz und Tiefe wurde mit Hülfe des Marey'schen Tympanums und des Kymographion registrirt, in einem Versuche gleichzeitig auch der Blutdruck in der Carotis aufgeschrieben. Es stellte sich nun hierbei heraus, dass die Thiere den Sauerstoffgehalt des Gemisches allmählig bis auf einen Rest von 3 — 4 % aufbrauchten und dann, nachdem die Athmung vorher langsamer und flacher geworden, aufhörten zu respiriren. Zeichen von Dyspnoe gingen dem Still-

---

der charaeteristisehen Erseheinungen im mindesten alterirt wird. Bei den Versuehen an Hunden wandten wir meist mit sehr grosser Sorgfalt von uns selbst aus Ammoniumnitrat bereitetes Gas an.

1) Pflügers Archiv, Bd. IV, S. 58, Bd. XII, S. 524.

2) Pflügers Archiv, Bd. XIV, S. 38.

stande der Athmung nicht voraus. Bei dieser allmähligen Verringerung des Sauerstoffs in der Athemluft lebten die Thiere schliesslich ausserordentlich lange Zeit mit einem minimalen Sauerstoffverbrauch. Hätte man sie, vorher normal athmend, plötzlich auf diesen geringen Sauerstoffvorrath angewiesen, so wären sie unter heftigen dyspnoetischen Erscheinungen zu Grunde gegangen. — Anfangs schrieben wir dieses merkwürdig lange Fortbestehen des Lebens, wobei das Thier allerdings des Bewusstseins bar zu sein schien, der narkotischen Wirkung des Stickoxyduls zu, bis wir in Controlversuchen fanden, dass bei allmähliger Verringerung des Sauerstoffgehaltes der atmosphärischen Luft die Thiere sich ganz ebenso verhalten. Ich glaube, dass die Beobachtung nicht ohne Interesse ist für die Deutung gewisser klinisch häufig beobachteter Phänomene. Bei allmählig zunehmenden Trachealstenosen (Croup), bei langsam sich entwickelnder Kohlenoxydvergiftung, findet man, dass Menschen in mehr oder weniger bewusstlosem Zustande oft auffallend lange mit sehr ungenügender Luftzufuhr auskommen. Zu diesen Beobachtungen bieten unsere Versuche ein interessantes Correlat und sie zeigen zur Evidenz, dass es unrichtig ist, in solchen Fällen von Kohlensäureintoxication als dem wesentlichen die Symptomenreihe bedingenden Momente zu sprechen. In unseren Versuchen wird die gebildete CO_2 fortwährend absorbirt und es ist nur der mehr und mehr zunehmende Sauerstoffmangel, welcher die Organe erlahmen lässt. Schliesslich verdient noch das Factum Erwähnung, dass wir mehrfach bei Thieren, die 10—15 Minuten lang auf die oben beschriebene Weise fast ohne Sauerstoffconsum gelebt hatten, durch künstliche Respiration zwar wieder so weit Erholung zu Stande brachten, dass spontane Athmung auftrat, dass aber dann nach einiger Zeit doch noch öfter der Tod unter Erlahmung der Athmung oder auch bei fortgesetzter künstlicher Respiration durch Herzstillstand eintrat. Das Weitere ergibt sich aus einigen hier folgenden Protokollen und den bezüglichen Curvenstücken auf Taf. I.

Versuch vom 29. September. Ein 940 g wiegendes Kaninchen wird tracheotomirt, die Canüle mit der Marcy'schen Schreibvorrichtung und dem Respirationsapparate verbunden, welcher ein Gemisch von

37,42% Sauerstoff,
16,16% Stickstoff,
46,42% Stickoxydul

enthält. Anfangs inspirirt das Thier nur aus dem Spirometer und exspirirt

durch ein Wasserventil in die Atmosphäre. Wie wenig die Athemmechanik durch den Stickoxydulgehalt dieses Gasgemisches beeinflusst wird, zeigt ein Vergleich der Curven 1 und 2 Tafel I [1]). Die erstere wurde zu Beginn des Versuches, während das Thier noch Luft athmete gezeichnet, die zweite nachdem es 32 Minuten lang das obige Gemisch geathmet hatte. Genaue Zählungen der Curven ergaben, dass die Respirationsfrequenz, welche vorher 19 in der $^1/_4$ Minute gewesen war, nach 2 Minuten auf 18, nach 5 Minuten auf 16, nach 32 Minuten auf 15 gefallen war. Von jetzt ab erfolgte auch die Exspiration in das Quecksilberspirometer, wobei natürlich, da die gebildete Kohlensäure fortwährend durch die Natronlauge der Ventile absorbirt wurde, der Sauerstoffgehalt des respirirten Gases stetig abnahm. Es wurde jetzt alle Minuten der Stand des Spirometers abgelesen, um den Sauerstoffverbrauch des Thieres zu bestimmen. Während der vorhergegangenen 32 Minuten hatte natürlich das Thier so viel Stickoxydul in Blut- und Gewebssäften absorbirt, wie dem oben angegebenen Partialdruck des respirirten Gases entsprach. Im Laufe des weiteren Versuches konnte davon nurmehr so viel zur Aufnahme gelangen, wie es der durch das Verschwinden des Sauerstoffs steigende Partialdruck des Stickoxyduls mit sich brachte.

Die in der folgenden Tabelle notirte Verminderung des Gasvolums entspricht also dem Sauerstoffverbrauche plus diesem absorbirten Stickoxydul.

Zeit in Minuten.	Respirationsfrequenz per $^1/_4$ Minute.	per Minute consumirtes Gas in ccm	Bemerkungen.
0	15	15,8	
5		16,4	
10		14,5	
12	16		
15			Reagirt nur langsam auf starkes Kneifen der Nase, Blut in der Arterie leicht venös gefärbt.
17		13,0	
18			
20	14		
23	16	9,8	
25			
26	15		Die Athmung ist tief und regelmässig, vgl. Fig. 3, Taf. I.
30		5,7	
31	15		
31.30	10		
32.30	14	2,7	Reaction der Conjunctiva sehr träge.
35			Noch immer ganz träge Reaction.
36			
37		0	
38		0	Das Thier ist absolut empfindungslos.
39		0	Die Athmung ist sehr verlangsamt u. erlischt dann. Vgl. Curve 4, Taf. I.
39,30			Künstl. Resp. mit atmosphärischer Luft beginnt.

1) In allen Athemcurven entspricht die Senkung der Inspiration, die Hebung der Exspiration.

$3^1/_2$ Minuten später reagirte das Thier wieder auf Reizung des Auges und athmete spontan. Es wurde nunmehr das übrig gebliebene Gasgemisch analysirt; dasselbe bestand aus

4,75% Sauerstoff,
25,21% Stickstoff,
70,04% Stickoxydul.

Das ganze zu Beginn des Versuches im Spirometer befindliche Gasvolum war = 1147 ccm mit 175 ccm Stickstoff. Der Rest zu Ende des Versuches = 750 ccm mit 189 ccm Stickstoff. Die Vermehrung des Stickstoffvolums liegt innerhalb der Fehlergrenzen, so dass daraus ein Schluss auf Zersetzung von Stickoxydul nicht gemacht werden kann.

Aus dem oben angegebenen Gewichte des Thieres von 940 g lässt sich der Sauerstoffverbrauch desselben approximativ auf 11,5 ccm per Minute berechnen. Ich stütze mich dabei auf einige, zu gleicher Zeit an Thieren, die in ganz ähnlichen Verhältnissen waren, im Laboratorium ausgeführte Respirationsversuche. Was das Thier anfänglich an Gas mehr aufnahm, kann nur absorbirtes Stickoxydul gewesen sein und das Thier hat demnach während der Partialdruck dieses Gases von 46,4 % auf 70 % stieg, wenigstens 60 ccm aufgenommen. Da der Absorptionscoëfficient des Stickoxyduls bei Körpertemperatur auf höchstens 0,45 geschätzt werden kann, sieht man hieraus ohne Weiteres, dass nicht nur das Blut, sondern gleichmässig alle Säfte des Körpers sich an der Absorption betheiligen.

Versuch 61 am 5. October 1877. Kaninchen von 1055 g wird wie bei obigem Versuche beschrieben, vorbereitet. Im Spirometer befindet sich ein Gemisch von

40,8% Sauerstoff,
43,0% Stickstoff,
16,2% Stickoxydul.

Nachdem das Thier einige Minuten durch Müller'sche Ventile Luft geathmet hatte, beginnt sofort Hin- und Herathmung am Spirometer.

Zeit in Minuten.	Respirationsfrequenz per $^1/_4$ Minute.	per Minute consumirtes Gas in ccm	Bemerkungen.
	normal 24		Das Verhalten der Athmungsmechanik beim Uebergang von Luft zu N_2O siehe Curve 5, Taf. I.
0			
2	21	25,5	
5	19		

Zeit in Minuten.	Respirationsfrequenz per 1/4 Minute.	per Minute consumirtes Gas in ccm	Bemerkungen.
7	17		
9	16	21,8	
10			
11	16		
13	15	18,9	
15			
16	27		Athmung sehr flach u. unregelmässig.
16.30	35	14,8	Athmung sehr flach u. unregelmässig, an Tiefe zu-, an Frequenz abnehmend.
18	19		
21	18		Vgl. Curve 6, Taf. I.
22			Es wird eine neue Quantität desselben Gasgemisches durch eine Seitenleitung ohne Störung der Athmung, in's Spirometer eingefüllt.
22.30			Vgl. Curve 7, Taf I, welche im Vergleich mit Curve 6 zeigt, dass mit dem reichlicher gewordenen Sauerstoffgehalt des Gasgemisches die Respiration erheblich flacher wird.
23	19		
24.30	15	13,9	
26	18		
27			Temperatur des Thieres = 36,2 ° C.
28	17		
31.30	19	16,7	Athmung wieder sehr tief, vgl. Curve 8, Taf. I. Augen reagiren noch.
32			
33	18		Auf Kneifen der Pfoten und der Nase keine Reaction, Augen reagiren träge.
35.5	16	11,5	
37	16		Athmung wird flacher, vgl. Curve 9, Taf. I.
38	16		
40	16	3,0	Athmung wird unregelmässig; Augen reactionslos vgl. Curve 10, Taf I.
41	12		
42	5		
43	3		Vgl. Curve 11, Taf. I.
44	3		
46	3	0,6	Athmung wird flacher, hört schliesslich auf; vgl. Curve 12, Taf. I.
47	0		

Nach 15 Secunden wird künstliche Respiration eingeleitet, eine Minute später athmet das Thier spontan und fährt so ziemlich regelmässig, tief und langsam (16 Resp. per Min.) fünf Minuten lang fort, die stärksten Reize lösen während dieser Zeit keine Reaction aus. Ein jetzt eintretender Athmungsstillstand veranlasst nach 35 Secunden nochmalige Einleitung der künstlichen Respiration. Nachdem diese 4 Minuten fortgesetzt war, ohne dass noch ein Zeichen spontaner Athmung sich gezeigt, wird Stillstand des Herzens constatirt.

Wenn man bei vorstehenden Versuchen dem Gedanken Raum geben könnte, dass das Stickoxydulgas, entweder dadurch, dass es, sich langsam zersetzend, dem Thiere Sauerstoff liefere, oder indem es durch seine narkotischen Eigenschaften die Intensität der Oxydationsprocesse vermindere, die Ursache der langen Fortdauer des Lebens bei ungenügender Sauerstoffzufuhr sei, so wird diese Annahme vollkommen widerlegt durch die Controlversuche mit atmosphärischer Luft.

Versuch 61— vom 5. October 1877. Kaninchen von 945 g Gewicht. Alles ist wie bei dem vorigen Versuche arrangirt, nur dass das Spirometer mit atmosphärischer Luft gefüllt ist.

Zeit in Minuten.	Respirationsfrequenz per ¼ Minute.	per Minute consumirtes Gas in ccm.	Bemerkungen.
v. d. Versuch	22		Vgl. Curve 13, Taf. I.
0			
1	20,5		
3	17,5	12,9	
5	17,5		
7	19	11,8	
10	18,5		
13	17	9,8	
15			Temp. des Thieres 36,3° C.
17			Auf Kneifen d. Pfoten träge Reaction, Augen reagiren prompt. Athmung tiefer, vgl. Curve 14, Taf. I.
		4,05	
19	16,5		
20			
21	14		
22		1,8	Sehr träge Reaction der Augen.
23	7		Vgl. Curve 15, Taf. I.
25			Augen reactionslos.
26	10,5		
28	16		
29	3	0,66	Vgl. Curve 16, Taf. I.
30	3		
32	3		
33	2,5	0,66	Vgl. Curve 17, Taf. I.
34	0		

Nachdem über eine Minute kein Athemzug erfolgt war, wird künstliche Respiration eingeleitet. Schon 15 Sek. später erfolgt der erste spontane Athemzug, da aber die Athmung noch unregelmässig bleibt, wird während der nächsten 6 Minuten mit Pausen weiter Luft eingeblasen. Erst 20 Minuten nach Beginn der Lufteinblasungen reagirt das Auge. Kneifen der Nase und der Pfoten löst erst einige Minuten später Reflexe aus. 55 Minuten nachdem es durch die künstliche Respiration wiedererweckt worden, wird das Thier,

dessen Temperatur mittlerweile auf 32° C. gesunken war, durch Verschluss der Trachea erstickt. Schon nach 25 Sek. treten heftige Krämpfe auf, welche 50 Sek. anhalten. Nach 2 Minuten 43 Sek. erfolgt die letzte Athmung, 2 Minuten später steht das Herz still.

Der Gegensatz zwischen der allmähligen Erstickung, wobei das Thier 15 Minuten lang fast ohne Sauerstoffconsum sein Leben erhalten hatte und keine heftigen Reizerscheinungen zeigte und dem rasch tödtlichen Effecte der plötzlichen totalen Sauerstoffentziehung ist hier um so eclatanter, weil das Thier im letzten Falle eine sehr niedrige Körpertemperatur (32° C.) hatte, die bekanntlich die Energie der Functionen der Organe des Warmblüters herabsetzt.

Wenn die bisher mitgetheilten Resultate nur äusserst fragmentarisch sind, und dieselben einer späteren Ergänzung bedürfen, bin ich in Bezug auf die Effecte, die das Mittel auf Kreislauf und Athmung übt, zu einem gewissen Abschluss gekommen. Traube[1]) hatte bekanntlich das Stickoxydul zu den indifferenten Gasen gezählt und es sogar als solches bei einigen Experimenten verwendet. Sein Beweis, bestehend in Beobachtung der Effecte einer Einblasung von 82,5 % N_2O gemischt mit 17,5 % O auf die Respiration, ist schon darum hinfällig, weil er die Versuche an einem vorher mit 0,3 g Morphium aceticum narcotisirten Hunde anstellte. Narcotische Effecte mussten unter diesen Umständen sich der Beobachtung entziehen. —

Als ausserordentlich schlagenden Beweis dafür, dass Stickoxydul ein Narcoticum ist, welches nicht nur durch Asphyxie, wie bei Athmung eines indifferenten Gases, betäubt, führe ich folgenden Versuch an: In einer Quecksilberwanne wurden zwei hinreichend weite Glascylinder von 10—15 cm Höhe aufgestellt, der eine mit vollkommen sauerstofffreiem Stickoxydul, der andere mit eben solchem Wasserstoff gefüllt. Darauf wurde in den mit Stickoxydul gefüllten Cylinder durch das Quecksilber ein Frosch, frisch eingefangenes Exemplar von Rana temporaria eingeführt, dem unter dem Quecksilber die Lungenluft möglichst ausgedrückt war. Um einen Hinterfuss des Thieres war ein Faden geschlungen, so dass man den Schenkel behufs Reizung mit Essigsäure hervorziehen konnte.

Nach Einbringung in das Gas athmete der Frosch Anfangs

---

1) Ges. Abhandlungen Bd. I, S. 463.

lebhafter und war sehr unruhig. Nach einigen Minuten wurde das Thier ruhig und machte nur noch träge Bewegungen wenn man an dem Faden zerrte. Nach 5 Minuten hörte auch diese Reaction auf, nach 5½ Minuten war Betupfen des aus dem Quecksilber hervorgezogenen Schenkels mit starker Essigsäure wirkungslos, das Thier machte aber immer noch seltene Athem-Bewegungen. Jetzt wird dasselbe an die Luft gebracht. Nach 30 Sek. reagirt es wieder auf den Säurereiz, erträgt aber noch die Rückenlage; erst einige Minuten später richtet es sich, auf den Rücken gelegt, wieder spontan auf. Darauf wurde dasselbe Thier in die zweite mit Wasserstoff gefüllte Glocke gebracht; auch hier macht sich lebhafte Unruhe und Dyspnoe bemerkbar. Letztere ist viel heftiger und hält länger an, als im Stickoxydul. Allmählig wurde das Thier ruhiger, reagirte aber noch nach 1¼ Stunden, nicht nur auf Betupfen mit Essigsäure, sondern auch auf einfache Zerrung mittelst des Fadens.

Ein zweiter Frosch, Rana esculenta, war, 15 Minuten nachdem er in Stickoxydul gebracht war, reactionslos auf mechanische und chemische Reize. Es wurde jetzt in die mit Stickoxydul gefüllte Glocke eine mässige Quantität atmosphärischer Luft eingeblasen, worauf das Thier in kurzer Zeit seine Reizbarkeit wieder gewann.

Das von mir beobachtete stundenlange Erhaltenbleiben der Erregbarkeit in indifferenten Gasen ist absolut in Uebereinstimmung mit den Angaben aller früheren Beobachter. Im frappanten Gegensatz dazu steht die energische Wirkung des reinen Stickoxydul. Sehr bemerkenswerth ist ferner, dass die bereits ausgebildete Narcose durch Beimengung eines geringen Luftquantums zu dem Gase wieder rückgängig wird. Da die zugesetzte Luftquantität so gering war, dass dadurch der Partialdruck des Stickoxyduls in dem Gasgemisch nur um wenige Procente verringert wurde, ist es nicht wahrscheinlich, dass die Narkose nur deshalb aufgehört habe, weil die Ganglienzellen des Thieres mit weniger gesättigter Stickoxydullösung umgeben waren. Es führt uns diese Beobachtung vielmehr zu der Annahme, *dass rasche und vollständige Narkose nur dann erzeugt und erhalten wird, wenn sich die Wirkung des Stickoxydulgases mit der des Sauerstoffmangels combinirt*[1]).

1) Nach Abschluss dieser Arbeit erhalten wir durch die Güte des Herrn Dr. *Rottenstein* in Paris die No. 10 des „Mouvement médicale“ vom 9. März

Hervorgehoben zu werden verdient noch, dass bei dem Frosche erst die willkührliche Bewegung, dann die Reflexerregbarkeit, viel später erst das Athemcentrum gelähmt wird, und dass bei der Erholung die Funktionen in der umgekehrten Reihenfolge wiederkehren, wie sie vorher verschwunden waren.

Bei den Versuchen an Warmblütern, zu deren Besprechung ich jetzt übergehe, benutzten wir zuerst Hunde, später Kaninchen. Um die Erscheinungen, die das Stickoxydul als solches bedingt, streng scheiden zu können von den Effecten des Sauerstoffmangels wurden bei allen Thieren, die reines Stickoxydul athmeten, vorher oder nachher Vergleichsversuche mit Athmung eines indifferenten sauerstofffreien Gases (N oder H) gemacht, zuweilen auch Erstickung durch Abschneiden der Luftzufuhr geprüft.

Das Stickoxydul wurde bei der ersten Versuchsreihe mit Hunden aus Ammoniumnitrat durch Erhitzen dargestellt, in grossen Woulff'schen Flaschen mit Eisenvitriollösung und Aetznatron gewaschen und in einem grossen über 200 Liter fassenden, nach Art der Spirometer construirten Behälter aufbewahrt. An diesem Gasometer war behufs Verminderung der Absorption des Gases durch das Sperrwasser das Volum dieses letzteren dadurch auf ein Minimum reducirt, dass in dem cylindrischen Gefäss, in dem die Spirometerglocke schwimmend auf- und absteigt, ein zweiter auch oben geschlossener Cylinder sich erhob, so dass die Sperrflüssigkeit (eine dünne Sodalösung) nur einen Ring von 3,5 — 4 cm Breite einnahm. Diese Anordnung findet sich auch bei den in der Praxis gebräuchlichen Inhalationsapparaten für Stickoxydul.

Bei der Reihe mit Kaninchen wurde durch Druck in eisernen Flaschen verflüssigtes Stickoxydul angewandt, wie solches in mehreren englischen und amerikanischen Fabriken dargestellt wird. Wir haben oben schon erwähnt, dass dieses Gas nachweisbare Spuren von O und N enthält. Diese Verunreinigung ist aber so gering, dass dadurch das Versuchsresultat nicht getrübt wird.

1878 worin neueste Versuche von P. Bert mitgetheilt werden, welcher Thiere ein Gemisch von O und N_2O unter erhöhtem Drucke athmen liess und dabei vollständige Narcose erzielte. Trotzdem glaube ich die Behauptung aufrecht erhalten zu müssen, dass die gewöhnliche Anästhesie nur zu Stande kommt durch Combination der positiven Wirkungen des Gases mit denen des Sauerstoffmangels, was ja nicht ausschliesst, dass bei grösserer Dichtigkeit des N_2O dieses allein zur Erzielung vollkommner Narcose ausreicht.

Der verwandte Stickstoff wurde durch Ueberleiten von atmosphärischer Luft, welche durch Aetznatron und Schwefelsäure von Kohlensäure und Wasserdampf gereinigt war, über glühende Kupferspäne gewonnen; der Wasserstoff mittelst chemisch reinen Zinks und verdünnter Schwefelsäure, die mit ein wenig Platinchlorid versetzt war, dargestellt und zwar immer unmittelbar vor dem Versuche. Bei den Hundeversuchen war die Anordnung folgende: die Thiere wurden tracheotomirt und die Trachea vermittels eines Gabelrohres mit zwei, in entgegengesetztem Sinne wirkenden Müller'schen Spritzflaschenventilen, deren Sperrflüssigkeit stärkste Natronlauge bildete, verbunden. Eine dreihalsige Woulf'sche Flasche stand mit diesen beiden Ventilen, sowie mit dem Gasbehälter in Verbindung und war die Einrichtung der Art getroffen, dass das exspirirte Gas hier nochmals Natronlauge passiren musste. Da auf diese Weise die Kohlensäure fast vollständig absorbirt wurde, konnte das exspirirte Gas ohne Nachtheil wieder in den Gasometer zurückgeführt werden, ohne dass zu befürchten war, die resp. Erscheinungen würden durch Kohlensäureintoxication beeinträchtigt werden.

Das Exspirationsventil war so eingerichtet, dass die Exspiration nach Belieben auch in die Atmosphäre erfolgen konnte. Das bei Beginn der Gasathmung in der Lunge befindliche Luftquantum konnte daher, indem man die ersten 3—4 Exspirationen in die Athmosphäre erfolgen liess, ziemlich vollständig eliminirt werden. Unmittelbar vor der Tracheakanüle war eine mit der Luft in Verbindung stehende Seitenleitung angebracht, so dass der Uebergang von der Luftathmung zur Gasathmung und umgekehrt in jedem beliebigen Augenblicke durch Oeffnen und Schliessen zweier Pflüger'scher Storchschnabelklemmen bewirkt werden konnte.

Der Gasbehälter bestand für das Stickoxydul aus einem 8—10 Liter fassenden Spirometer, welcher wie der oben beschriebene grosse Gasbehälter construirt war.

Der Stickstoff befand sich in einem gewöhnlichen Laboratoriums-Gasometer, der Wasserstoff in einer als Gasometer eingerichteten grossen, 10 Liter fassenden Glasflasche.

Zu den Kaninchenversuchen diente der im Laboratorium aufgestellte oben erwähnte Roehrig-Zuntz'sche Respirationsapparat. Es befanden sich neben einander zwei solcher Apparate, so dass

man ohne Aufenthalt zur Anwendung eines zweiten Gases schreiten konnte. An den Apparaten befand sich noch eine Seitenleitung, vermittels deren durch zwei Müller'sche Ventile Luft geathmet werden konnte, so dass beim Uebergang von Luftathmung zur Athmung eines der Gase die mechanischen Bedingungen der Respiration dieselben blieben.

Wenn an curarisirten Thieren beobachtet werden sollte, wurde der Apparat mit einem doppelten Pumpwerk verbunden, welches so wirkte, dass die eine Pumpe Gas aus dem Spirometer durch eines der Ventile aussaugte, während die andere gleichzeitig sich durch ein zweites Ventil mit Exspirationsluft aus der Lunge des Thieres füllte. Beim Niedergang der Pumpen entleerte sich die eine durch das dritte Ventil in die Lunge des Thieres, die andere durch das vierte in das Spirometer. Dies Princip ist schon früher von N. Zuntz[1]) angewandt worden. Wir bedienten uns nur statt der damals benutzten Gummiballons kleiner Quecksilberpumpen, deren Construction aus der Abbildung (Taf. V Fig. 5) so klar erhellt, dass eine weitere Erklärung überflüssig erscheint. Der horizontale Strich in den beiden Cylindern markirt die Höhe des Quecksilberstandes; die abgebrochen gezeichneten Gummischläuche, welche dem über das Quecksilber emporragenden Glasrohre unten aufgebunden sind, gabeln sich nach den Ventilen hin. —

Behufs Registrirung der Athembewegungen ging von der Tracheacanüle ein enges Seitenrohr ab, welches durch einen dickwandigen Gummischlauch von engem Lumen mit dem Marey'schen Schreibapparat verbunden war. Ein Quecksilbermanometer mit Schwimmer stand in üblicher Weise mit der Arteria femoralis des Hundes oder der Carotis des Kaninchens in Verbindung, so dass Athmung und Blutdruck direct unter einander auf der rotirenden Trommel des Kymographion registrirt wurden. Das Kymographion ist ein wesentlich nach den Angaben von Prof. Koester von dem hiesigen Mechaniker Lieberz ausgeführtes Instrument, welches bei einer von 10 Sekunden bis zu 5 Stunden beliebig variablen Umlaufszeit der Trommel eine befriedigende Gleichmässigkeit des Ganges gewährt, so dass eine besondere Registrirung der Zeit bei unseren Versuchen unnöthig war. Um die Gefahr einer Verfälschung der Pulszahlen durch Eigenschwingungen

---

1) Pflügers Arch. Bd. 12, pag. 524.

des Quecksilbers ganz auszuschliessen, haben wir bei vielen der späteren Versuche das Manometer mit einem Setschenow'schen Hahn versehen und den Puls durch einen besonderen Cardiographen, welcher die Stösse des Arterienblutes direct aufnahm, registrirt. Auf diese Weise sind die abgebildeten Pulscurven gewonnen.

Nunmehr zur Analyse der Versuche selbst übergehend, betrachten wir zunächst den Effect unseres Mittels auf die Athmung. Wie wir durch die Versuche von L. Hermann und Traube[1]) wissen, tritt Dyspnoë nicht ein, wenn N_2O mit hinreichend O gemischt eingeathmet wird; dass das Gas aber kein indifferentes ist, sehen wir aus dem geänderten Mechanismus der Athmung.

Schon oben, als wir uns mit dem Gaswechsel der N_2O-haltige Gemische athmenden Kaninchen beschäftigten, haben wir die durch N_2O herbeigeführte Verlangsamung der Athmung kennen gelernt. Viel evidenter noch tritt dieselbe beim Hunde hervor.

Bei einem weiblichen Hunde von 8 Kilo Gewicht war die Athemfrequenz vor der Athmung eines Gemisches von ca. 73 % N_2O und 27 % O = 8 in der Viertelminute gewesen und ergab dann folgende Zahlen für die aufeinanderfolgenden ¼ Minuten: 7, 6, 5, 4, 3, 4, 4, 4, 4. Während der folgenden 2¾ Minuten wurde bei fortdauernder Athmung desselben Gases nicht registrirt, die dann aufgenommene Curve ergab die Frequenzzahlen 4, 3, 3, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4. — Mit der unter Einwirkung des N_2O abnehmenden Frequenz steigert sich die Tiefe der einzelnen Athemzüge, wie ein Vergleich der Excursionen des Schreibhebels in den verschiedenen Stadien des Versuches ergab. Die Grösse dieser Excursion war bei den 5 ersten Athemzügen nach Beginn der N_2O-Athmung im Mittel = 2,2 mm bei den folgenden 5 = 3,2 mm. Das Mittel der 10 ersten Athemzüge der 2. Minute des Versuchs = 3,4 mm, das der 7. Minute = 5,8 mm. In diesem Stadium scheint etwas Dyspnoë in Folge des stetig verminderten O-Gehalts der Athemluft aufzutreten, welche die zunehmende Tiefe der Athmung und eine Aenderung des Typus derselben in so fern bedingt, als eine geringe active Exspirationsthätigkeit sichtbar wird. Während der ersten Minuten der reinen N_2O-Wirkung erfolgt die Exspiration ganz passiv und folgt auf dieselbe eine längere vollständige Athem-

---

1) S. Traube ges. Abhandlungen Bd. I, S. 463.

pause, deren Dauer durchschnittlich doppelt so lang ist als Inspiration und Exspiration zusammengenommen. Bei den ersten Athemzügen am Apparat, ehe noch hinreichende Mengen Stickoxydul vom Blute absorbirt sind zeigt die Athmung den normalen Typus, dass sich die Inspiration fast ohne Pause an die vorhergegangene Exspiration anschliesst. Vorstehende Wirkung auf die Athmung ist offenbar analog der einer Vagusdurchschneidung resp. der mehrfach untersuchten anderer Narcotica, wie Chloroform, Chloralhydrat, Chotonchloralhydrat[1]). Das Thier war während der Athmung sehr ruhig, doch blieb die Reflexerregbarkeit der Conjunctiva erhalten.

Wir kommen jetzt zu einer grösseren Reihe von Versuchen, wo das Gas, wie es die Praktiker meistens anwenden, rein geathmet wurde und also Asphyxie gleichzeitig mit der Narkose herbeiführte. —

Der Effect des Stickoxyduls wird sich hier offenbaren, wenn wir die Erscheinungen mit denen der reinen Erstickung vergleichen.

Ueber die Reihenfolge der Erstickungserscheinungen nach Verschluss der Trachea hat Högyes[2]) eine am Kaninchen ausgeführte Versuchsreihe mitgetheilt, bei welcher er eine der unsrigen ganz analoge graphische Methode anwandte. Diese Versuche können uns als Basis des Vergleichs dienen. Högyes unterscheidet 3 Stadien der Erstickung; im ersten beobachtet man vorwiegend inspiratorische Anstrengungen, im zweiten gesellt sich hierzu heftigste Thätigkeit der Exspirationsmuskeln, wobei isochron mit jeder exspiratorischen Anstrengung die allgemeinen klonischen Krämpfe auftreten. Nach dem letzten am längsten dauernden exspiratorischen Krampf folgt eine Inspiration mit rein passiver Exspiration und hiermit ist das dritte Stadium, wo nur noch selten Inspirationen erfolgen, während die Exspirationsmuskeln ganz unthätig sind, eingeleitet. Zu Anfang dieses Stadiums findet sich meist eine längere Athempause. Während des dritten Stadiums liegt das Thier ruhig, die Cornea wird im Laufe desselben reflexlos. Kurz vor dem definitiven Stillstand werden dann die Athmungen flacher. —

Es war nun zunächst leicht, die Richtigkeit dieses Högyes'-

1) cf. v. Mering. Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 3, S. 185.
2) Arch. f. exp. Path. u. Pharmakol. Bd. V, p. 86.

schen Schemas auch für den Hund darzuthun, mit dem einzigen Unterschiede, dass die active Betheiligung der Exspirationsmuskeln beim Hunde schon früher auftritt und allmählig zunimmt, so dass das zweite Stadium weniger scharf vom ersten abgegrenzt wird. Ausserdem fehlt beim Hunde meist der Athemstillstand zu Anfang des dritten Stadiums. Uebrigens dürfen wir die Erscheinungen bei Athmung eines sauerstofffreien Gases deshalb nicht ohne weiteres mit denen nach Sperrung der Trachea (welches Erstickungsmittel Högyes allein angewandt hat) vergleichen, weil im letzteren Falle der ganze Sauerstoffvorrath der Lungenluft noch dem Thiere zu Gute kommt und natürlich die Erstickung verlangsamt, andererseits aber die das Athemcentrum reizende CO_2 in grosser Menge aufgehäuft wird. Der Gehalt an letzterer steigt bei Erstickung durch Athmung eines indifferenten Gases, so lange kräftig geathmet wird, nicht über die Norm, wie die Versuche von Pflüger[1]) beweisen. Aus diesen Gründen wurden den Athmungen von Stickoxydulgas solche von Stickstoff oder Wasserstoff und nicht einfache Erstickungen durch Trachealverschluss gegenüber gestellt. — Die Erscheinungen der Stickstoffathmung unterscheiden sich übrigens nur unwesentlich von denen der einfachen Erstickung. Die Dyspnoë tritt rascher auf, sowohl das inspiratorische wie das exspiratorische Stadium gelangen früher zum Maximum, der Uebergang in das dritte Stadium erfolgt jedoch annähernd gleich rasch, beim Hunde nach ca. 100 Sekunden im Durchschnitt. (Fast genau in derselben Zeit wie in Högyes' Kaninchenversuchen.) — Der definitive Tod des Athemcentrums scheint bei N-Athmung etwa $^1/_2$ Minute früher einzutreten, doch ist die Zahl der hier in Betracht kommenden Versuche nicht so gross um das Spiel des Zufalls absolut auszuschliessen.

Bei den Stickoxydulversuchen nun macht sich die narcotisirende Wirkung des Gases fast momentan geltend. Eine, wenn auch schwache Action der Exspirationsmuskeln tritt beim Hunde in 5 Versuchen mit Athmung von N, resp. Tracheaverschluss nach spätestens 7 Sekunden hervor und ist einmal schon nach dem ersten Athemzug sichtbar. Bei Stickoxydulathmung war sie in einem Versuch nach 6 Sekunden andeutungsweise vorhanden, sonst erst nach 18, 30, 32 Sekunden. Sichtlich erreichen die dyspnoëschen Anstrengungen bei Einathmung von Stickoxydul lange nicht die

1) Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. I, S. 92.

Höhe, wie bei Athmung von Stickstoff, sowohl die inspiratorischen wie die exspiratorischen Excursionen der Athemcurve sind kaum halb so gross im ersten Falle und die mit den forcirten Exspirationen zusammenfallenden Krämpfe fehlen vollständig bei Stickoxydul. — Eben so deutlich spricht sich die narkotisirende Wirkung unseres Mittels in der früheren Beendigung des zweiten Stadiums der Erstickung aus. Im Mittel aus 5 N_2O-Versuchen erlischt die active Exspiration nach 65,5 Sekunden, in 3 N-Versuchen nach 102 Sekunden, in 2 Versuchen mit Sperrung der Trachea erst nach 108 Sekunden. — Der definitive Stillstand der Athmung wurde in 2 N_2O-Versuchen nach 215 resp. 201 Secunden beobachtet, während derselbe, bei den anderen Erstickungsarten etwas später, selbst erst nach der zweihundertvierzigsten Secunde eintritt. Man vergleiche auch die Respirationscurven Taf. I. Fig. 18.

Beachtung verdient noch der Gang der Athemfrequenz im Laufe der Erstickung; auch hier scheint sich die narkotische Wirkung des Stickoxyduls in etwas grösserer Gleichmässigkeit des Abfalles der Frequenz im Laufe der Erstickung zu documentiren. Das Verhältniss wird ohne Weiteres klar bei Betrachtung der beiden Diagramme Fig. 3 und 4 Taf. V, in welchen die ausgezogene Linie die Stickoxydulathmung, die punctirte die einfache Erstickung repräsentirt. Bei beiden Curven ist auf der Abscisse die Zeit vom Beginn der Erstickung in Sekunden abgesteckt, jeder Centimeter der Ordinate bedeutet bei Fig. 3, welche die Verhältnisse beim Hunde darstellt, einen Athemzug in 15 Sekunden, bei der auf Kaninchen bezüglichen Fig. 4 deren 2. Die Curve der einfachen Erstickung beim Hunde repräsentirt das Mittel aus den Zahlen von 7 Erstickungen, wovon 4 durch Einathmung von N, 3 durch Athmung von H an 6 verschiedenen Hunden bewirkt worden. Die Erstickungscurve durch N_2O repräsentirt 10 Einzelversuche an 8 Hunden. — Die einfache Erstickung wurde bei den Kaninchen stets durch Wasserstoff bewirkt. — Die Curve ist aus 8 Versuchen an 6 Thieren abgeleitet. Die Curve der Erstickungen durch Stickoxydul entspricht 6 Versuchen an 5 Thieren.

Alle eben beschriebenen durch das Stickoxydul bewirkten Abweichungen von dem normalen Verlauf der Erstickungen stimmen auf's Vollständigste überein mit denjenigen, welche Högyes als bedingt durch Narcotica (Chloroform, Chloralhydrat) und durch Trennung der Vagi beschreibt und graphisch darstellt. Die Rich-

tigkeit von Högyes' Angaben haben wir übrigens für das Chloral selbst geprüft und vollkommen bestätigt.

Das Ausbleiben der heftigeren Erscheinungen von Dyspnoë bei Erstickung durch Stickoxydul, findet sich nun ganz so auch beim Menschen, wie Hermann an sich selbst gefunden und wir nach eigenen Versuchen bestätigen können. Man kann einen Menschen durch Stickoxydul asphyctisch machen, ohne dass unangenehme Empfindungen vorhergehen. — Für die praktische Verwendung des Narcoticums bleibt nun die wichtigste Frage, wie viel früher die hinreichende Narcose gegenüber Schmerzempfindungen auftritt als die Lähmung des Athemcentrums. Bei der gewöhnlichen Erstickung von Hunden tritt meist die Reflexlosigkeit der Cornea erst in der zweiten Hälfte des dritten Erstickungsstadiums ein, also ganz kurz vor der Athemlähmung, die allerdings immer noch durch künstliche Respiration gehoben werden kann. Bei Stickoxydulathmung ist die Cornea beim Hunde meist schon in dem Stadium der activen Exspirationen vollkommen reflexlos, also zu einer Zeit wo von einer Gefahr für das Athemcentrum noch gar keine Rede sein kann. Wenn man nach Beginn des dritten Stadiums wieder Luft zuführt bleibt die Anaesthesie mehrere Minuten bestehen, während das Thier, nur langsamer als normal, weiter Luft respirirt.

In der Constanz des Auftretens der drei Erstickungsstadien scheint uns die Garantie gegen die Gefahr der Lähmung des Athemcentrums bei Anwendung von Stickoxydul als Narcoticum zu liegen. Man muss eben die Respiration genau überwachen und spätestens bald nach Beginn des dritten Stadiums der Erstickung, wo ja die Anaesthesie längst vorhanden, die Einathmung des Gases unterbrechen.

Einwirkungen des Stickoxyduls auf Herzaction und Blutdruck.

Wir wenden uns jetzt zu den Wirkungen unseres Gases auf den Circulationsapparat und zwar zunächst wieder für den Fall, dass es mit hinreichend viel atmosphärischer Luft gemischt ist um keine Dyspnoë zu erzeugen.

Bei Hunden wie bei Kaninchen fanden wir bei den Versuchen, welche mit Rücksicht auf die Athmung oben bereits be-

sprochen wurden, dass der Blutdruck unter der Einwirkung des Stickoxydul keine wesentlichen Veränderungen erfährt. So lange keine Dyspnoë auftritt bleibt die Pulsfrequenz beim Kaninchen unverändert, beim Hunde nimmt sie zu. Diese Verminderung des Tonus der Herzhemmungsnerven ergänzt die Beobachtungen über Verlangsamung der Respiration, indem beide auf eine gemeinschaftliche Ursache, Verminderung der in der Vagusbahn normal verlaufenden Erregungsvorgänge zurückgeführt werden können.

Die respiratorischen Schwankungen des Blutdrucks wurden, wie dies bei der früher beschriebenen Verlangsamung und Vertiefung der Athmung natürlich ist, etwas grösser. In dem oben besprochenen Versuche am Hunde stieg ihr Werth von 31 auf 34—39 mm. Von viel grösserer praktischer Bedeutung sind die Wirkungen der Einathmung des reinen N_2O Gases auf den Blutdruck. Es wird allgemein angenommen, dass die Erstickungsprodukte zu den mächtigsten Stimulis des vasomotorischen Nervensystems gehören und dass dementsprechend in den ersten Stadien der Erstickung der Blutdruck rasch gewaltig in die Höhe geht.

Von vorn herein schien nun in dieser mit der Erstickung einhergehenden Drucksteigerung eines der schwerwiegendsten Bedenken gegen die praktische Verwendung des Stickoxyduls zu liegen und haben wir deshalb auf ihre Untersuchung von Anfang an besondere Aufmerksamkeit verwandt. Zu unserer grössten Ueberraschung blieben die erwarteten gewaltigen Drucksteigerungen aus; während wir aber Anfangs geneigt waren hierin eine specifische Wirkung des Stickoxydulgases zu sehen, wurde durch die Controlversuche mit Stickstoff- oder Wasserstoffathmungen resp. Erstickung durch Tracheaverschluss uns bald klar, dass auch bei der einfachen Erstickung die von den Autoren beschriebenen mächtigen Drucksteigerungen nur ausnahmsweise beobachtet werden. Ich verweise in Bezug hierauf auf den Aufsatz von Prof. Zuntz: Beiträge zur Kenntniss der Einwirkungen der Athmung auf den Kreislauf. Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. XVII. — Dennoch lässt die Curve des arteriellen Drucks bei der Einathmung von Stickoxydul einige charakteristische Unterschiede gegenüber solchen Thieren erkennen, welche durch Athmung eines indifferenten Gases asphyctisch gemacht werden.

Diese Unterschiede treten bei Hunden, wie bei Kaninchen hervor und sie zeigen sich ebenso bei durch Curare gelähmten Thieren, denen das betreffende Gas eingeblasen wird, wie bei un-

vergifteten, welche spontan athmen. Die Doppelcurve Taf. II zeigt in den rothen Linien das Verhalten von Puls, Blutdruck und Athmung bei Inhalation von Stickoxydul, in den schwarzen, bei Wasserstoff. Die beiden Curven sind von demselben Hunde gezeichnet; zwischen den Versuchen liegt eine Erholungspause von 30 Minuten. Wir haben absichtlich diejenige Doppelcurve gewählt, bei welcher die Drucksteigerung durch Stickoxydulathmung den höchsten Werth erreichte, nämlich 93 mm über den Anfangsdruck. Unter 10 genau ausgemessenen und mehreren nur approximativ geschätzten Erstickungscurven durch Stickoxydul wurde ein solches Ansteigen des Druckes nicht wieder beobachtet. Der nächst diesem höchste von mir notirte Werth war = 62 mm, während im Mittel aus 10 Stickoxydul Versuchen die Drucksteigerung = 47 mm war. Der analoge Mittelwerth aus 10 Erstickungen durch Stickstoff oder Wasserstoff war = 42,4 mm. Die Zahl der Versuche ist bei weitem nicht gross genug, um so kleinen Abweichungen irgend einen Werth beilegen zu können. —

Höchst charakteristisch ist das Verhalten des Pulses. Wir hatten oben gesehen, dass derselbe durch Athmung eines Gemisches von Sauerstoff und Stickoxydul beschleunigt wird, wenn er nicht vorher schon sehr frequent war. Wie in jenem Falle der normale Tonus der Herzhemmungsnerven durch das Stickoxydul herabgesetzt wird, so wird durch dasselbe auch die mit der Erstickung einhergehende mächtige Erregung derselben verhindert. — Die in einem gewissen Stadium der Erstickung stets vorhandene Verlangsamung der Herzaction, wobei die einzelnen Schläge desselben ungemein kräftig sind, ist unter der Einwirkung des Stickoxydul viel weniger bemerkbar. Dies Verhalten ist auf Taf. II zwar erkennbar, aber nicht sehr prägnant, weil dort auch bei der Wasserstoffathmung die Vagusreizung ausnahmsweise wenig hervortritt.

Wir geben noch, um diesen Unterschied deutlicher zu zeigen, die beiden Pulscurven Fig. 19, Taf. I, von einer Erstickung durch Wasserstoff, Fig. 20, Taf. I von einer solchen durch Stickoxydul, beide vom Hunde. An den mit „B“ bezeichneten Stellen der Curven hörte die Erstickung auf; künstliche Respiration war zur Erholung nicht nöthig.

Taf. III zeigt denselben Unterschied im Verhalten der Herzaction beim curarisirten Kaninchen. Zuerst wurden die unteren Curven, welche sich auf eine Erstickung durch Wasserstoff be-

ziehen, gewonnen, ½ Stunde später wurde dasselbe Thier durch Stickoxydul erstickt und dabei die oberen Curven gezeichnet. Da man daran denken könnte, dass die Vagusreizung bei der Stickoxydulathmung desshalb ausgeblieben sei, weil das Herzhemmungssystem noch von der vorhergegangenen Erstickung durch Wasserstoff paretisch war, sei hier ausdrücklich bemerkt, dass das Thier, nach der Erholung von der Stickoxydulnarkose nochmals durch Wasserstoff erstickt, eine mit der ersten fast identische Blutdruckcurve lieferte. Endlich findet sich dasselbe Verhalten noch wieder bei nicht vergifteten Kaninchen, wofür Taf. IV als Beleg dient. Die obere Curve ist bei Wasserstoffathmung, die untere bei Athmung von Stickoxydul geschrieben; der erste, die Curve sperrende, mit A bezeichnete Strich markirt den Anfang der Athmung des differenten Gases, der mit B bezeichnete Strich den Moment, wo die Trachea wieder mit der Luft in Communikation gesetzt wurde.

Zur weitern Erläuterung der soeben an der Hand der Curven besprochenen Verhältnisse mögen hier zunächst noch einige tabellarisch geordnete Curvenausmessungen und dann zusammenfassende Tabellen der Druckmaxima und Minima, sowie solche über den Zeitpunkt und den Werth der grössten Druckzunahme Platz finden.

Für die Pulsfrequenz geben wir der leichteren Uebersicht wegen statt der Tabellen die zwei Diagramme Fig. 1 und 2 Taf. V, in denen dieselbe als Ordinate und die Zeit als Abscisse abgetragen ist. Beim Kaninchen Fig. 1 entspricht 1 mm Ordinatenhöhe einem Pulse in 15 Sek., in Fig. 2 beim Hunde 2 mm einem solchen. Jeder Millimeter der Abscisse repräsentirt eine Sekunde. Die ausgezogenen Linien beziehen sich auf Stickoxydul die punktirten auf Stickstoff resp. Wasserstoff.

Versuch 9. Erstickung eines Hundes durch Verschluss der Trachea.

Zeit.	Respiration per ¼ Minute.	Pulse per ¼ Minute.	Blutdruck. Max.	Blutdruck. Min.	Bemerkungen.
0— 15	6	11	145	106	
15— 30	5	12	146	82	
30— 45	5	9	132	58	
45— 60	5	5	136	72	
60— 75	5	6	144	76	
75— 90	4	7	144	80	
90—105	3	8	145	78	
105—120	3	12	123	70	
120—135	2	9	134	62	

Zeit.	Respiration per ¹/₄	Pulse Minute.	Blutdruck Max.	Blutdruck Min.	Bemerkungen.
135—150	3	7	103	50	
150—165	1	6	94	44	
165—180	2	5	88	43	
180—195	1	6	85	38	
195—210	1	8	98	44	
210—225	1	11	118	63	
225—240		14	120	80	

Versuch 21. Erstickung eines Hundes durch Athmung von Stickstoff und spontane Erholung durch Luftathmung.

normal			160		
0— 15	7	24	162	156	
15— 30	4	21	162	150	
30— 45	8	25	166	148	
45— 60	12	24	174	164	
60— 75	12	16	174	152	Von der 67. Secunde ab fällt der B. D. stetig bis nach Beginn der Luftathmung.
75— 90	12	13	154	128	
90—105	7	8	130	98	
					Luftathmung beginnt.
105—120	1	7	98	88	In der 112. Secunde beginnt das Steigen des B. D.
120—135	1	9	124	92	
135 - 150	1	11	141	122	
150—165	2	18	184	131	In der 160. Secunde setzt plötzlich grosse Pulsfrequenz ein, mit welcher in 8 Secunden der B. D. von 131 auf 200 mm steigt, um dann während eines von der 170. bis zur 175. Sec. dauernden Herzstillstandes auf 140. mm zu fallen.
165—180	2	14	200	124	

Versuch 19. Erstickung eines Hundes durch Athmung von Stickoxydul, spontane Erholung durch Luftathmung.

normal			71		
0— 15	2—3	38	72	62	
15— 30	4	37	73	64	
30— 45	9	37	76	70	
45— 60	8	29	97	72	
60— 75	6	25	108	94	
75— 90	7	14	108	82	
90—105	11	13	104	81	
105—120	3	14	109	94	
120—130	1		114	96	
		14			Luftathmung beginnt.
130—135	2		124	96	
135—150			137	109	
150—165			137	85	
165—180			103	69	
180—195			101	82	
195—210			100	82	
210—225					
225—240					

Versuch 17. Stickoxydulathmung und Erholung beim Hunde.

Zeit.	Respiration per 1/4 Minute.	Pulse per 1/4 Minute.	Blutdruck. Max	Blutdruck. Min.	Bemerkungen.
normal			146		
0— 15	5	44	156	135	
15— 30	7	44	154	139	
30— 45	7	36	170	144	
45— 60	8	28	174	152	
60— 75	8	27	179	159	
75— 90	7	28	183	159	
90—105	7	22	195	175	
105—120	2	17	203	149	
120—135	2	9	155	109	
135—145	1		127	100	
		7			Die Trachea wird mit der Atmosphäre in Communikation gesetzt.
145—150	0		117	100	
150—165	0		130	106	
165—180	0		134	122	
180—195	1		186	129	Sofort nach dem ersten Athemzuge mächtiges Ansteigen des B. D.
195—210	2		194	140	
210—225			201		

Versuch 14. Hund, Uebergang von Luftathmung zu Stickoxydul und von diesem wieder zur Luftathmung.

normal			144		
0— 15	?	37	152	123	
15— 30	6	33	151	126	
30— 45	3	32	164	116	Athmung des N_2O beginnt.
45— 60	2	31	156	90	
60— 75	4	18	150	78	
75— 90	4	14	155	87	
90—105	4	12	160	78	
105—120	4	8	168	86	
120—135	3	11	170	103	
135—150	3	11	170	104	
150—165	2 1/2	9—10	164	116	
165—180	2	9—10	160	121	
180—195	2	10	156	110	
					Luftathmung beginnt.
0— 15	2	12	150	116	
15— 30	1	12	206	116	
30— 45	3	33	219	180	
45— 60	4	15	196	79	
60— 75	7	17	154	99	
75— 90	6	17	163	105	
90—105	8	19	180	110	
105—120	8	17	162	122	

Versuch 36. Erstickung eines Kaninchens durch Wasserstoff und Erholung unter Beihülfe künstlicher Respiration.

normal	15	53	107	95
0— 15	12	35	120	72
15— 30	3	11	121	44
30— 45	0	3	128	24

Zeit.	Respiration per 1/4	Pulse Minute.	Blutdruck Max.	Min.	Bemerkungen.
45— 60	0	16	136	76	
60— 75	0	40	136	92	In der 74. Secunde eine künstliche Athmung.
75— 90	5	38	111	92	Alle folgenden Athmungen sind Lufteinblasungen; das Thier beginnt erst nach Ende der Curve spontan zu respiriren.
90—105	4	37	114	97	
105—120	6	37	130	97	
120—135	0	35	132	106	
135—150	9	34	107	98	

Versuch 37. Kaninchen. Stickoxydulathmung und Erholung durch künstliche Respiration.

normal	15,5	50	95	86	
0— 15	14	46	96	87	
15— 30	14	31	104	86	
30— 45	5	17	101	58	
45— 60	0	13	101	59	Trachea mit der Luft in Communication gesetzt.
60— 75	6*	12	128	42	* künstliche Respirationen.
75— 90	2*	20	129	92	
90—105	16*	20	94	87	
105—120		22	89	84	
120—135		21	104	85	
135—150		24	134	102	

Erst drei Minuten nach Beendigung der Curve reagirt das Thier wieder auf Reizung der Conjunctiva.

Versuch 44. Kaninchen athmet N_2O. Erholung durch künstliche Respiration.

—15— 0	16	47	108	107	
0— 15	18	51	116	95	
15— 30	15	41	97	69	
30— 45	0	15	74	32	
45— 60		6	70	19	In d. 60. Secunde Umschaltung,
60— 75	14*	4	40	20	* künstliche Respirationen.
75— 90	6*	15	65	26	
90—105		26	80	56	In der 100. Secunde erste Spontanathmung.
105—120		52	81	60	

Versuch 47. Kaninchen athmet N_2O; nach einer einzigen schwachen Lufteinblasung Erholung unter spontaner Respiration.

—14— 0	17	61	110	105	
0— 15	20	58	112	98	
15— 30	22	33	120	104	
30— 45	21	27	134	89	
45— 60	1	15	102	49	Umschaltung.
60— 75		11	128	44	1 Lufteinblasung, die folgenden spontanen Athmungen wurden nicht registrirt.
75— 90		31	140	103	
90—105		28	136	101	
105—120		22	120	100	

Zeit.	Respiration per 1/4	Pulse Minute.	Blutdruck. Max.	Min.	Bemerkungen.
120—135		13	113	98	
					30 Secunden nicht registirt.
165—180		52	123,5	117	
180—195		50	119	116	
195—210		45	110	105,5	
210—225		45	119	107	Das Auge reagirt wieder.
225—295		nicht gezählt.			Von der 225. Sec. ab Traube'sche Wellen; alle 3—4 Sec. ein Gipfel.
295—310		50	108	105	
310—370		nicht gezählt.			
370—385		56	108	102	

Tabelle der Druckmaxima bei 5 N und 5 H Versuchen beim Hunde.

Versuch	normal	0—15	15—30	30—45	45—60	60—75	75—90	90—105	105—120	120—135	135—150	150—165	165—180	180—195
5 N	141	170	176	260		196	164	200	180	180	181	176	172	118
8 N	130	144		144		124		127	117	116	113	152	148	144
10 N	129	131	140	164	164	159	167	154						
18 N	140	158	238	239	159		123	142	120					
20 H				114	126	130	130							
21 N	160	162	162	166	174	178	154	130						
22 H	116	123	124	134	136									
23 H	166	181	181	190	235	233	234	220	214					
26 H	146	157	156	153	111	94	84	73	65					
28 H	126	143	134	127	104	70								
Durchschnitt	139	152,1	163,9	169,1	151,1	148	150,9	149,4	139,2	148	147	164	160	131

Tabelle der Druckminima bei 5 N uad 5 H Versuchen beim Hunde.

Versuch	0—15	15—30	30—45	45—60	60—75	75—90	90—105	105—120	120—135	135—150	150—165	165—180	180—195	195—210
5	120	124	170	147	154	150		128	124	132	134	144	140	144
8	100		90	68	72		87	58	62	68	88	50	54	50
10	104	98	90		92	50	50							
18	130	152	152	110		86	70	8						
20			103	102	123	160	27							
21	156	150	148	164	152	128	98							
22	118	110	124	113										
23	160	163	163	186	202	202	206	201						
26	118	121	88	72	61	56	50	46						
28	120	120	84	45	31									
Durchschnitt	125,1	129,5	121,2	104,1	110,9	106	84	88,2	93	100	111	97	97	97

Tabelle der Druckmaxima bei 10 N_2O Versuchen beim Hunde.

Versuch	normal	0—15	15—30	30—45	45—60	60—75	75—90	90—105	105—120	120—135	135—150	150—165	165—180
6	118	122	126	156	153	140	124	124	130	112	126	130	136
7	132	144	160	174	174	154	102						
11	121	126	156	158	130	90	94	94					
12	128	134	143	158	150	114	90	110	92	94	95	93	104
14	151	164	156	150	155	160	168	170	170	164	160	156	
17	146	156	154	170	174	179	183	195	203	155	127		
19	71	72	73	76	97	108	108	104	109	114			
24	163	170	172	167	208	256	252	224	221	211			
27	137	162	169	199	165	148	119		65				
29	126	153	166		152	120	73		58		47		
Durchschnitt	129,3	140,3	147,5	156,4	155,8	136,9	131,3	145,9	131	141,7	111	126,3	120

Tabelle der Druckminima bei 10 N_2O Versuchen beim Hunde.

Versuch	0—15	15—30	30—45	45—60	60—75	75—90	90—105	105—120	120—135	135—150	150—165	165—180
6	108	108	112	108	102	74	56	34	40	83	98	106
7	124	116	120	102	46	50						
11	104	110	106	66	42	45	54					
12	110	108	120	91	43	43	56	55	56	56	44	58
14	116	90	78	87	78	86	103	104	116	121	110	
17	135	139	144	152	159	159	175	149	109	100		
19	62	64	70	72	94	82	81	94	96			
24	150	161	154	156	203	211	206	205	193			
27	116	142	147	131	102	48	46	44				
29	117	149		116	54	49	44	40		33		
Durchschnitt	114,2	118,7	115,7	108,1	92,3	84,7	91,2	90,6	101,7	78,6	84	82

Tabelle der Druckmaxima bei 8 H Versuchen am Kaninchen.

Versuch	—15—0	—15	—30	—45	—60	—75	—90	—105	—120	—135	—150	—165				
36	107	120	121	128	136 |	136	111	114	130	132	107	küstliche Respiration				
38	86	85	84	62 |	76	62	62	78	92	97	104	künstliche Respiration				
41	100	100	121	141	130	139	(—80) 120 | 111	99	84	künstliche Respiration						
43	107	102	116	116	104	78	90	80	47	48	39	28,5	(—195) 23,5	(—255) 17	(—295) 12	Thier stirbt
45			94	34	23	15	13?	10?	10?	künstliche Respiration ohne Erfolg. Thier stirbt						
46	112	114	104 |	34	27					25,3	künstliche Respiration ohne Erfolg. Thier stirbt					
48	98	106	108 |	102	95	112	109	144	146	151	140	(—270) 141	künstliche Respiration			
49	115	116	112	(—33) 80 | 66	94	144	160	160	129	küustliche Respiration						
Durchschnitt	103,6	106,1	95,1	111,8												

Der senkrechte Strich | bezeichnet in dieser und den folgenden Tabellen das Ende der Stickoxydul- resp. Wasserstoffathmung.

Die Bemerkung „künstliche Respiration" in dieser und den folgenden Tabellen will sagen, dass künstliche Respiration zur Erholung in Anwendung kam.

Tabelle der Druckminima bei 8 H Versuchen am Kaninchen.

Versuch	—15—0	—15	—30	—45	—60	—75	—90	—105	—120	—135	—150	—165	—150		
36	95	72	44	24	76 |	92	92	97	97	106	98	künstliche Respiration			
38	82	80	62	26	26	28	28	61	76	84	85				
41	85	97	82	104	88	104	(—79) 110 | 98	69	66	künstliche Respiration					
43	100	98	83	80	70	70	74	46	41	39	28	23	17	12	12 Thier stirbt
45			24	23	15	12	10?	10?	10?	künstliche Respiration ohne Erfolg. Thier stirbt					
46	101	94	34 |	27						25	künstliche Respiration ohne Erfolg. Thier stirbt				
48	95	95	56 |	54	61	91	93	104	122	140	122	122	künstliche Respiration		
49	109	97	64	(—66) 50 / 33 |	46	73	126	125	103	künstliche Respiration					
Durchschnitt	96	90,4	56,1	53,8											

Tabelle der Druckmaxima bei 8 N_2O Versuchen am Kaninchen.

Versuch	−15 −0	−15	−30	−45	−60	−75	−90	−105	−120	−135	−150	−165	−180	−195	−210	−225			
37	95	96	104	101	101 ▮	128	129	94	89	104	134	künstliche Respiration							
39	79	77	76	69	56	28	30	29	30	42	48	48	45	48	−255 48	−315 25	−375 18	−405 10,5	Thier stirbt
40	114	120	148	158	156	−67 139 ▮ 134	157	158	153										
42	100	105	111	132	126			118	−110 100 ▮ 91										
44	108	116	97	74	70 ▮	40	65	80	81										
47	110	112	120	134	102 ▮	128	140	136	120	113			123,5	119	110	119		290—305 108	
50	99	112	111	−39 70 ▮ 81	84	49	48	58	74	trotz k. Respiration v. 1/4 St. stirbt das Thier, nachdem es kurze Zeit vorher spontan geathmet hatte.									
51	117	124	130	−40 106 ▮ 85	108	146		130	106		300—315 141		375—390 131		420—435 127				
Durchschnitt	102,7	107,5	112	106	99														

Tabelle der Druckminima bei 8 N_2O Versuchen am Kaninchen.

Versuch	−15 −0	0—15	−30	−45	−60	−75	−90	−105	−120	−135	−150	−165	−180	−195	−210	−225	−240	−255	−270	−285
37	86	87	86	58	59	42	92	87	84	85	102	künstl. Respiration								
39	73	70	66	46,6	17	12	23	16	20	23	38	42	41	40	−225 24·	−315 17	−375 10	−405 7	Thier stirbt	
40	111	110	112	119	122	−67 121 ▮ 120	128	138	144											
42	97	98	93	101	106			99	−112 90 ▮ 77	künstliche Respiration										
44	107	95	69	32	19 ▮	20	26	56	60											
47	105	98	104	89	49	44	103	101	100	98			123,5	119	110	119		108		108
50	94	95	50	−39 38 ▮ 66	49	39	36	143	52											
51	106	103	98	−40 55 ▮ 53	44	126		103	195		300—315 136		375—390 126		420—435 121					
Durchschnitt	97,5	94,5	84,7	67,2	62															

Tabelle über die Druckzunahmen und den Zeitpunkt des Maximums.

	Hunde						Kaninchen				
10 N_2O Versuche			5 N und 5 H Versuche			8 N_2O Versuche			8 H Versuche		
Versuch	Druck-zunahme mm	Zeit-punkt des Maxim. in Sec.	Versuch	Druck-zunahme mm	Zeit-punkt des Maxim. in Sec.	Versuch	Druck-zunahme mm	Zeit-punkt des Maxim. in Sec.	Versuch	Druck-zunahme mm	Zeit-punct des Maxim. in Sec.
6	38	43	5 (N)	119	36	37	9	22	36	29	60
7	44	55	8 (N)	22	162	39	0		38	0	
11	37	32	10 (N)	31	83	40	44	42	41	41	33
12	30	52	18 (N)	99	38	42	32	43	43	9	40
14	19	107	21 (N)	18	58	44	8	6	45	0	
17	57	107	20 (H)	16	72	47	24	35	46	0	
19	43	122	22 (H)	20	50	50	13	8	48	10	16
24	93	72	23 (H)	69	59	51	13	20	49	0	
27	62	42	26 (H)	11	13						
29	4 0	33	28 (H)	17	11						
Durchschnitt	46,3	66,5		42,4	78,1		18	25,1		11,1	35,2

In den vorstehenden Tabellen ist mehrfach das Verhalten des Blutdruckes während der Zeit, wo das Thier wieder Luft athmete, angegeben. Auch die Curven auf Taf. III und IV geben

dasselbe an. Wir haben ausser den dort referirten noch eine Anzahl Versuche eigens zu dem Zwecke angestellt, um die Circulationsverhältnisse während der Erholung von der Stickoxydulnarkose kennen zu lernen. Eine allgemeine Regel für das Verhalten des Blutdrucks in dieser Zeit lässt sich nicht angeben. Fast immer steigt er über die Norm und ist das Maximum, welches er erreicht, bald höher, bald niedriger, als das während der Narkose beobachtete. Oefter zeigte sich während der Erholung mit plötzlicher sehr grosser Zunahme der Pulsfrequenz einhergehend rasches Ansteigen des Blutdrucks zu bedeutender Höhe, von der er nach 10 — 15 Sec. unter geringer Verminderung der Pulsfrequenz wieder abfiel. Den eclatantesten derartigen Fall zeigt der unten mitgetheilte Versuch VII ebenfalls.

Nach einfacher Erstickung verhält sich die Sache ebenso, wofür der oben p. 357 mitgetheilte Versuch 21 ein Beispiel ist, und konnten wir keinen durchgreifenden Unterschied im Verhalten der Thiere constatiren, mochten sie vorher eine gewöhnliche, oder eine durch Stickoxydul herbeigeführte Asphyxie durchgemacht haben. Wir hatten speciell unsere Aufmerksamkeit noch darauf gerichtet, ob der Druck sich im Erholungsstadium anders verhalte, wenn man unmittelbar nach Eintritt der Anästhesie wieder mit der Luftathmung beginnt, oder länger Stickoxydul athmen lässt. Auch in dieser Beziehung erhielten wir kein constantes Ergebniss.

Versuch VII. am 7. Juli 1876.

Erholung eines Hundes von N_2O-Narkose.

Zeit.	Athemfrequenz. per ¹/₄ Minute.	Pulsfrequenz. per ¹/₄ Minute.	Blutdruck Max.	Blutdruck Min.	Bemerkungen.
30—15	2	20	102	50	Letzte Zeit der N_2O Athmung.
15—0	1	18	100	70	
—	—	—	—	—	
15—30		70	234	212	Druckmaximum unter plötzlicher grosser Steigerung der Pulsfrequenz.
30—45		64	220	194	
45—60		52	222	186	
60—75		58	220	132	
75—90		34	198	130	
90—105		36	122	168	

Versuch XV am 1. August 1876.

Hund, Erholung von N_2O-Narkose.

Zeit.	Athemfrequenz.	Pulsfrequenz.	Blutdruck Max.	Blutdruck Min.	Bemerkungen.
30—15	6	20	162	86	letzte Zeit der N_2O-Athmung.
15—0	8	24	168	78	
0—15	?	22	163	70	
15—30	?	30	**206**	78	Druckmaximum.

Zeit.	Athem-frequenz per ¹/₄ Minute.	Puls-frequenz per ¹/₄ Minute.	Blutdruck Max.	Blutdruck Min.	Bemerkungen.
30— 45	6	22	182	62	
45— 60	10	28	180	94	
60— 75	18	26	160	100	
75— 90	12	30	174	112	
90—105	14	28	168	108	
105—120	14	26	168	115	
120—135	15	?	160	110	
135—150	14	26	154	98	
150—165	14	26	142	108	
165—180	18	24	157	111	
180—195	16	24	145	106	
195—210	14	27	155	106	
210—225	14	31	154	112	
225—240	16	26	156	114	
240—255	14	28	156	113	
255—270	14	30	154	114	
270—285	12	28	156	113	
285—300	13	?	156	118	

Ueber den Zeitpunkt des Eintritts der Anästhesie.

Da die Stickoxydulathmungen ausschliesslich zum Zwecke der Erzeugung von Schmerzlosigkeit praktisch angewandt werden, lag es nahe auch bei unseren Versuchen diesem Punkte besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Trotzdem sind unsere Erfahrungen darüber deshalb nur beschränkt, weil wir fürchten mussten die Resultate der Respirations-, Puls- und Druckmessungen durch häufige Prüfung der Sensibilität zu trüben. In den wenigen Beobachtungen, wo der Moment der Reflexlosigkeit der Cornea genau fixirt werden konnte, fiel derselbe bei Hunden weit in das früher charakterisirte zweite Stadium der Dyspnoë zwischen die 40. und 50. Secunde vom Beginn der Inhalationen an. Nur in einem Falle, bei einem durch mehrere vorhergegangene Erstickungen erschöpften Hunde, dessen Körpertemperatur unter 34° C. lag, fiel die Reflexlosigkeit erst in das dritte Stadium. Bei einfacher Erstickung durch Tracheaverschluss oder Athmung eines indifferenten Gases, ist es hingegen Regel, dass die Cornea erst spät im Verlauf des dritten Erstickungsstadiums ihre Reizbarkeit verliert.

Beim Kaninchen trat die Reflexlosigkeit um die 30. Secunde ein, was annähernd mit dem Ende des zweiten Stadiums der Dyspnoë zusammenfällt.

Für die Anwendung des Gases beim Menschen ist der Um-

stand sehr günstig, dass eine für Zahnoperationen vollkommen hinreichende Anästhesie bereits vorhanden ist, in einem Stadium, in welchem Reizung des Auges noch reflektorischen Lidschluss bewirkt, und die Athmung noch regelmässig und tief mit fast normaler Frequenz erfolgt. Der Puls ist nach meinen Beobachtungen in Uebereinstimmung mit den Angaben der Autoren von annähernd normaler Frequenz und vermehrter Fülle. Die vielfach beschriebene anfängliche Steigerung der Pulsfrequenz ist in guter Uebereinstimmung mit der von mir beobachteten und oben ausführlicher besprochenen Herabsetzung des Vagustonus.

Das von der Odontological Society of Great Britain ernannte Untersuchungscomité hat aus 1380 Fällen folgende Tabelle über die zeitlichen Verhältnisse der Anästhesie berechnet:

	Durchschnittszeit zur Erzeugung der Anästhesie.	Durchschnittliche Dauer der Anästhesie.	Durchschnittszeit vom Beginn der Inhalation bis zur vollständigen Erholung.
Männer	81 Sec.	24 Secunden	115 Secunden
Frauen	76 „	28 „	120 „
Kinder von 15 Jahren und darunter	63 „	22 „	100 „

Der schnellere Eintritt der Narkose bei Kindern hängt offenbar nicht nur mit der grösseren Erregbarkeit ihres Nervensystems, sondern wesentlich auch mit ihrem lebhafteren Stoffwechsel, der die Erstickung rascher voranschreiten lässt, zusammen. Nach meinen Erfahrungen in etwa 300 Fällen bedarf es übrigens bis zum Eintritt einer für Zahnoperationen vollkommen hinreichenden Anästhesie keiner so langen Zeit als in der Tabelle angegeben. Ich liess auch bei Männern, und diese bildeten die Mehrzahl, das Gas nie länger als 70 Sec. inhaliren, kam aber meist mit etwa 60 Sec. zum Ziele.

Es ist nach meinen Beobachtungen unverkennbar, dass im Momente des Eintritts der Anästhesie beim Menschen die Erstickung noch nicht so weit fortgeschritten ist, als beim Hunde und bei diesem wiederum nicht so weit als beim Kaninchen. Es hängt dies offenbar mit der grösseren Wirkung aller anästhetischer Mittel auf das höher organisirte Gehirn zusammen, die sich auch darin ausspricht, dass Mischungen von Sauerstoff mit Stickoxydul auf den Menschen sehr eclatante Wirkungen haben, während ihre

Effecte bei Hunden und Kaninchen, wie wir oben gesehen haben, nur wenig prägnant sind.

Sollte sich die Beobachtung von Winderling[1]) bestätigen, dass das Stickoxydul vorwiegend auf den Trigeminus wirke, und dieser etwa nach 4 — 5 Athemzügen, während die übrigen Nerven noch empfinden, anästhesirt sei, so würde darin ein ganz besonderer Vortheil, gerade für die Anwendung bei Zahnoperationen, liegen. Da wir bei Thieren gefunden haben, dass der definitive, durch künstliche Respiration nicht mehr rückgängig zu machende Tod des Athemcentrums zuweilen ziemlich rasch nach dem Stillstande der Athmung eintritt, glauben wir hier die Warnung aussprechen zu müssen, stets sobald Athemstillstand erfolgen sollte — was übrigens, wenn man das Gas nicht ungebührlich lange inhaliren lässt, kaum jemals der Fall sein dürfte — sofort durch künstliche Respiration für Zufuhr von Sauerstoff zu sorgen. —

Wir haben früher schon gesehen, dass die arterielle Drucksteigerung während der Narkose nicht sehr bedeutend und also auch die daraus resultirende Möglichkeit des Eintritts von Apoplexien nicht sehr naheliegend ist. Während des Erholungsstadiums mit seinen zuweilen sehr plötzlichen Druckelevationen könnte man eher an dergleichen denken. Da die Drucksteigerung hauptsächlich auf Contraction der Eingeweidegefässe beruht[2]), so ist es sehr wahrscheinlich, dass dieselbe erheblicher ausfällt, wenn diese Gefässe stark gefüllt sind, wie z. B. während der Verdauung. Dieser Zeitpunkt wäre also namentlich bei solchen Individuen, bei welchen man Grund hat dergleichen Ereignisse zu befürchten (Herzkranke, Greise) zu vermeiden, wenn man nicht vorzieht, bei diesen überhaupt auf die Anwendung des Stickoxyduls zu verzichten. Ebenso wie das Stadium der Verdauung dürfte jeder Zustand von abnormer Blutfülle der Haut, wie er z. B. durch Aufenthalt in heissen Räumen herbeigeführt wird, die Gefahr der Drucksteigerung erhöhen[3]). — Bekanntlich wirkt jede Reizung eines sensiblen Nerven erheblich steigernd auf den arteriellen Druck, und dürfte nach den darüber vorliegenden Angaben vieler Physiologen[4]) die hierdurch z. B.

---

1) Canstatt. Jahresberichte 1875. Bd. 2. p. 512.

2), 3) vgl. N. Zuntz: Beiträge zur Kenntniss der Einwirkungen der Athmung auf den Kreislauf. Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie. Bd. XVII.

4) Heidenhain, Riegel, Dittmar, Latschenberger und Deahna u. m. A.

bei einer Zahnextraction bewirkte Drucksteigerung kaum geringer sein, als diejenige, welche das Stickoxydul bewirkt.

Wenn wir nun die sensible Reizung und ihren Effect durch die Narkose ausschliessen, so wird wohl auch in solchen Fällen die Gefahr einer Apoplexie — welche die Operation ja an sich schon bedingt — durch die Narkose keine Steigerung erfahren.

In Bezug auf die Nachwirkungen der Stickoxydulnarkose, ebenso wie mit Rücksicht auf die Wiederbelebung bei bedrohlich gewordener Asphyxie gibt die Arbeit von R. Böhm „Ueber Wiederbelebung nach Vergiftungen und Asphyxie"[1]) wichtige Anhaltspunkte. —

In dieser Arbeit weist Böhm im Anschluss an eine frühere Mittheilung im Centralblatt f. d. medic. Wissenschaften nach, dass bei durch verschiedene Gifte, wie Kalisalze, Chloroform oder durch Erstickung herbeigeführtem Scheintode auch dann noch eine Wiederbelebung möglich ist, wenn das Herz bereits stille steht und der arterielle Blutdruck auf ein Minimum abgesunken ist. Um diesen Erfolg zu erzielen muss die künstliche Respiration combinirt werden mit methodischen Compressionen des Thorax, von denen Boehm nachweist, dass sie den arteriellen Druck beträchtlich (je nach der Stärke der Compressionen wurden Elevationen von 50 — 120 mm Quecksilber beobachtet) zu erhöhen vermögen und also einen ziemlich lebhaften Kreislauf ohne Herzaction zu unterhalten gestatten.

Nachdem so einige Zeit, oft viele Minuten lang, arterielles Blut durch die Organe gepumpt ist, beginnt das Herz wieder zu schlagen und den Blutdruck rascher oder langsamer auf sein normales Niveau, oft sogar weit darüber zu erheben. —

Uns interessirte von den Versuchen specieller die Wiederbelebung nach Chloroformtod einerseits, nach Erstickung durch Tracheaverschluss oder Wasserstoffathmung andererseits. Bei Chloroformtod gelang die Wiederbelebung unter 20 Versuchen noch 4 mal, wenn der Versuch erst 1, 3⅓, 5, 9 Minuten nach dem Herzstillstande begonnen wurde. Begann die künstliche Athmung und Compression des Thorax im Momente des Herzstillstandes, so wurden von 3 Thieren wenigstens 2 gerettet.

In Folge der Erstickung, einerlei ob die Kohlensäure Anhäufung

---

1) Archiv f. exp. Pathologie und Pharmakologie Bd. 8, p. 68—101.

durch Wasserstoffathmung verhindert wird oder nicht, stirbt das Herz viel rascher nach dem Athemstillstande ab, als wenn letzterer durch Chloroform bewirkt wurde. Nur in wenigen Fällen gelang die Wiederbelebung später als 1½ Minuten nach dem Stillstande des Herzens.

Auf Grund dieser Experimente wird man bei Todesgefahr die unter dem Gebrauche des Stickoxyduls eingetreten ist, in allen jenen Fällen, in welchen der Herzschlag nicht mehr deutlich fühlbar ist, sich nicht mit jenen Wiederbelebungsmitteln aufhalten dürfen, welche einseitig die Luftzufuhr zu den Lungen bezwecken, wie Lufteinblasungen, electrische Reizung der Phrenici, vielmehr wird man sofort zu regelmässigen, kräftigen Compressionen des Thorax und Abdomen schreiten, um so Blutumlauf und Luftwechsel zugleich herbeizuführen. —

Da beim Stickoxydul die Erstickung sich mit der narkotischen Wirkung des Gases combinirt, ist es von vornherein wahrscheinlich, dass die Chancen der Wiederbelebung günstiger als bei einfacher Erstickung, wenn auch nicht so günstig als bei Herzstillstand durch Chloroform sein werden. — Wir haben nun zwar diesen Punkt nicht specieller untersucht, wie denn die Gewinnung zuverlässiger Angaben nur durch Vergleichung hunderter von Versuchen möglich sein dürfte; immerhin verdient bemerkt zu werden, dass wir mehrmals, nachdem der Blutdruck im Laufe der einfachen Erstickung tief abgefallen war, vergeblich die Wiederbelebung durch künstliche Respiration versuchten[1]), während dieser Misserfolg uns nach Stickoxydul-Athmung niemals vorgekommen ist. Es scheint eben hier wie bei Chloroformerstickung das Herz langsamer abzusterben als bei einfacher Erstickung.

Besonders instructiv ist in dieser Beziehung ein bisher nicht erwähnter Versuch an einem curarisirten Kaninchen (No. 59 u. 60). Nach 330 Sec. Einblasung von reinem Stickoxydul erholt sich dasselbe rasch durch Lufteinblasung; 25 Minuten später wird demselben Thiere Wasserstoff eingeblasen, derselbe nach 235 Sec. durch Luft ersetzt, aber vergeblich, das Thier blieb todt. —

Dieses längere Leben des Herzens ist für die sichere Anwendung des Stickoxydul sehr wesentlich. —

Vielfach sind dem Stickoxydul schädliche Nachwirkungen zuge-

---

1) In unseren Kaninchenversuchen No. 45, 46, 60.

schrieben worden. Die Versuche von Böhm lassen die Möglichkeit des Auftretens solcher erkennen, indem sicher anzunehmen ist, dass zu lange fortgesetzte Asphyxie durch Inhalation von Stickoxydul, ganz dieselben Folgen haben wird, wie der Scheintod durch einfache Erstickung. —

Sämmtliche von Böhm aufgefundenen Nachwirkungen des Scheintodes lassen sich darauf zurückführen, dass die nervösen Apparate in demselben Maasse langsamer sich vom Scheintode erholen, als sie früher demselben verfielen, also auch länger sich in diesem Zustande befanden, ehe die künstliche Respiration und Circulation ihnen wieder Sauerstoff zuzuführen begann. Es erholt sich immer zuerst das Herz, dann das Athemcentrum, erheblich später beginnt die Reflexerregbarkeit und zwar früher an den Extremitäten als am Kopfe. Es folgt jetzt, während alle Zeichen von Bewusstsein und willkührlicher Bewegung fehlen, ein Stadium stark erhöhter Reflexerregbarkeit welches mehrere Stunden dauern kann und in dem Maasse schwindet, wie die Hirnfunctionen wieder deutlicher hervortreten. —

Auch wenn willkührliche Bewegungen wieder vorhanden sind, bleibt auffallende Trägheit und Mangel an Spontaneität noch längere Zeit zurück.

Die Schmerzempfindlichkeit bleibt, nachdem das Stadium gesteigerten Reflexes vorüber, noch lange Zeit herabgesetzt.

Von den Sinnesorganen bleibt das Auge am längsten, in einzelnen von Böhm mitgetheilten Fällen wochenlang ohne Function. Die Pupillen der blinden Thiere reagiren auf Licht, aber das grellste Licht bewirkt niemals Lidschluss.

Es handelt sich auch hier ausschliesslich um eine cerebrale Störung, am Auge selbst ist Nichts nachweisbar und das Reagiren der Pupille beweist, dass sogar ein Theil der cerebralen Sehapparate wieder functionirt und nur das Bewusstsein des Gesehenen fehlt, ähnlich wie bei den Hunden, denen Goltz die graue Substanz der Hirnoberfläche weggespült hatte. —

Die vorstehenden für das Verhalten in der nächsten Zeit nach der Wiederbelebung auch von uns vielfach bestätigten Beobachtungen, lassen uns alle hier und da in der Literatur gemachten Angaben über schädliche Nachwirkungen der Stickoxydulnarkose beim Menschen wohl verständlich erscheinen. —

Uebrigens beobachteten wir bei allen Thieren, bei welchen die

Luftathmung, wenn auch relativ erhebliche Zeit nach dem Athemstillstande doch noch zu einer Zeit, in der der Herzschlag deutlich sich an der Blutdruckcurve markirte, wieder begann, eine rasche vollständige Erholung, so dass nach längstens ½ Stunde alle Hirnfunctionen wieder in vollem Gange waren. Wenn nach dieser Zeit eine neue ebenso weit gehende Asphyxie erzeugt und diese Procedur 4 — 6 mal wiederholt wurde, selbst dann konnte eine dauernde Schädigung von Hirnfunctionen nicht constatirt werden

An der Hand dieser Experimentalergebnisse wird es nun höchst wahrscheinlich, dass auch beim Menschen nur dann Nachwirkungen der Narkose auftreten, wenn die Sauerstoffentziehung ungebührlich lange gedauert hat.

Nun tritt aber in Uebereinstimmung mit dem was wir über die Reihenfolge des Absterbens der einzelnen Abschnitte des Nervensystems wissen, die zur Ausführung von Operationen nöthige Bewusst- und Willenlosigkeit, wie oben schon erwähnt, lange vor dem Athemstillstande, ja sogar vor Aufhören der Reflexerregbarkeit der Conjunctiva ein. Lässt man, sobald dieser Moment eingetreten ist, Luft athmen, so dauert die Bewusstlosigkeit und Analgesie höchstens einige Minuten und kurz nachher sind alle Functionen des Nervensystems wieder im Gange, in den meisten Fällen erinnert nicht einmal Eingenommenheit des Kopfes an die überstandene Narkose. —

Erklärung der Tafeln.

Auf allen Tafeln bedeutet der Buchstabe A den Uebergang von Luft- zu Stickoxydulathmung, B den Uebergang von einem der differenten Gase zur Luftathmung. C auf Taf. IV bedeutet: Auge reagirt wieder. D auf Taf. I, Fig. 13 bezeichnet den Uebergang von der freien Athmung zur Athmung am Spirometer.

Taf. I.

Fig. 1—17. Respirationscurven von Kaninchen. In Fig. 1—4 entsprechen 48 mm der Abscisse einer viertel Minute. Bei 5—17 incl. 40 mm. Die weitere Erklärung findet sich im Text.

Fig. 18. Respirationscurven vom Hunde, die rothe bei Stickoxydul- die schwarze bei Stickstoffathmung von demselben Thiere gezeichnet. 66 mm = $^1/_4$ Minute.

Fig. 19. Pulscurve eines Hundes bei Wasserstoffathmung,

Fig. 20. Von demselben Thiere bei Stickoxydul 33 mm = $/_4$ Min.

Taf. II.

Puls-, Blutdruck- und Respirationscurven eines Hundes; roth bei Stickoxydul-, schwarz bei Wasserstoffathmung 40 mm = $^1/_4$ Min.

Taf. III.

Blutdruckcurven vom curarisirten Kaninchen, oben bei Stickoxydul — unten bei Wasserstoffathmung 50 mm = 15 Secunden.

An Curve 1 jeden Versuches ist die Stelle, wo die Lufteinblasungen durch in demselben Tempo erfolgende Einblasungen des betreffenden Gases ersetzt werden mit A bezeichnet. Ebenso bei Curve 3 die Stelle, wo das Gas wieder durch Luft ersetzt wird mit B. Je drei zusammengehörige Curven haben da sie ohne Unterbrechung durch 3 Trommelumläufe gezeichnet sind, dieselbe Nulllinie.

Taf. IV.

Oben Blutdruckcurve eines Wasserstoff athmenden Kaninchens. 49 mm = $^1/_4$ Min.

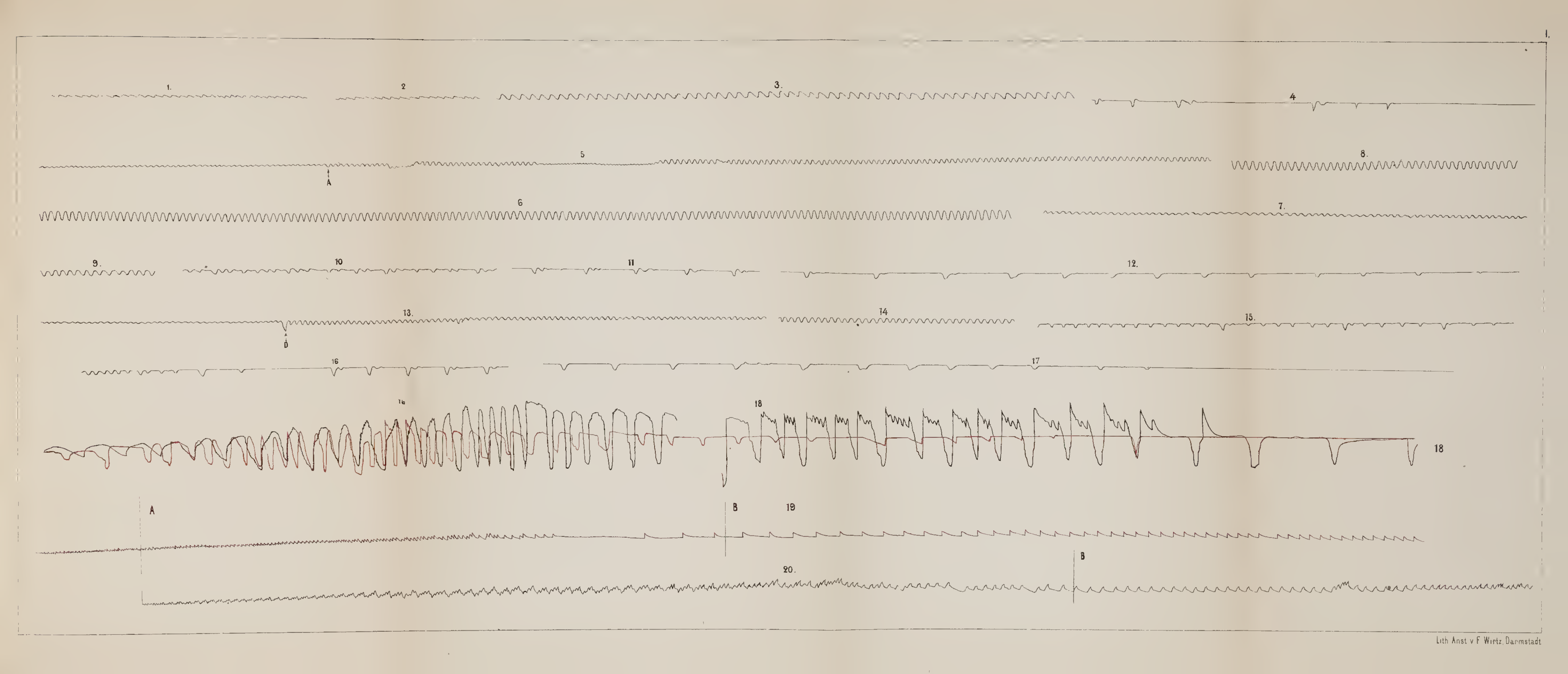
Unten dieselbe Curve eines Stickoxydul athmenden Kaninchens 50 mm = $^1/_4$ Min. Beim Buchstaben B beider Curven beginnt die Erholung durch Luftathmung. Zwischen Umlauf 1 und 2 der unteren Curve liegen 30 Sekunden Pause, während welcher die Trommel um 30 mm hinaufgeschoben wurde. Die Nulllinie zum ersten Umlauf der unteren Curve liegt 4 mm unter der Umrahmung der Tafel, die zu den beiden folgenden Umläufen demnach 34 mm unter derselben.

Taf. V.

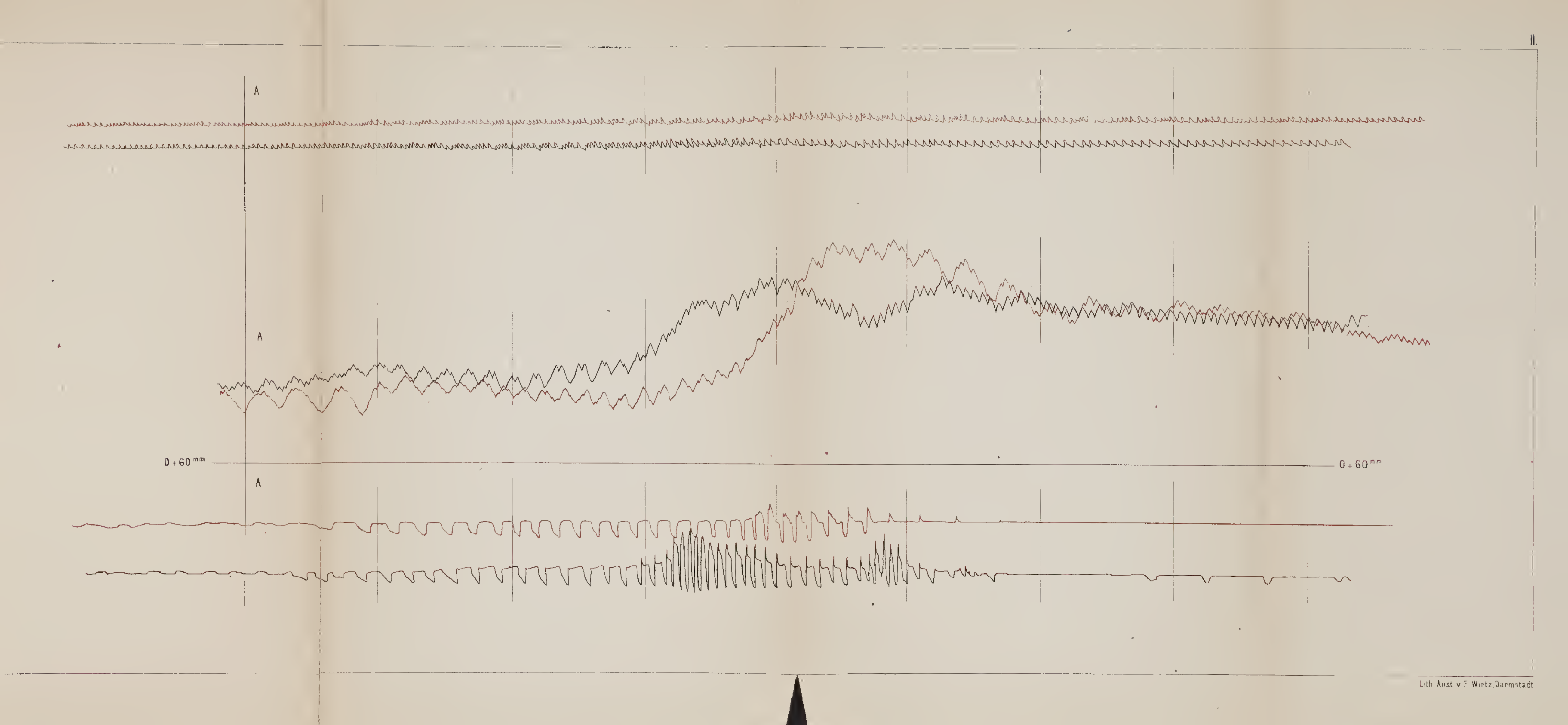
Fig. 1—4. Diagramme des Verlaufs der Puls und Athemfrequenz bei Stickoxydulathmung und einfacher Erstickung. Näheres im Text.

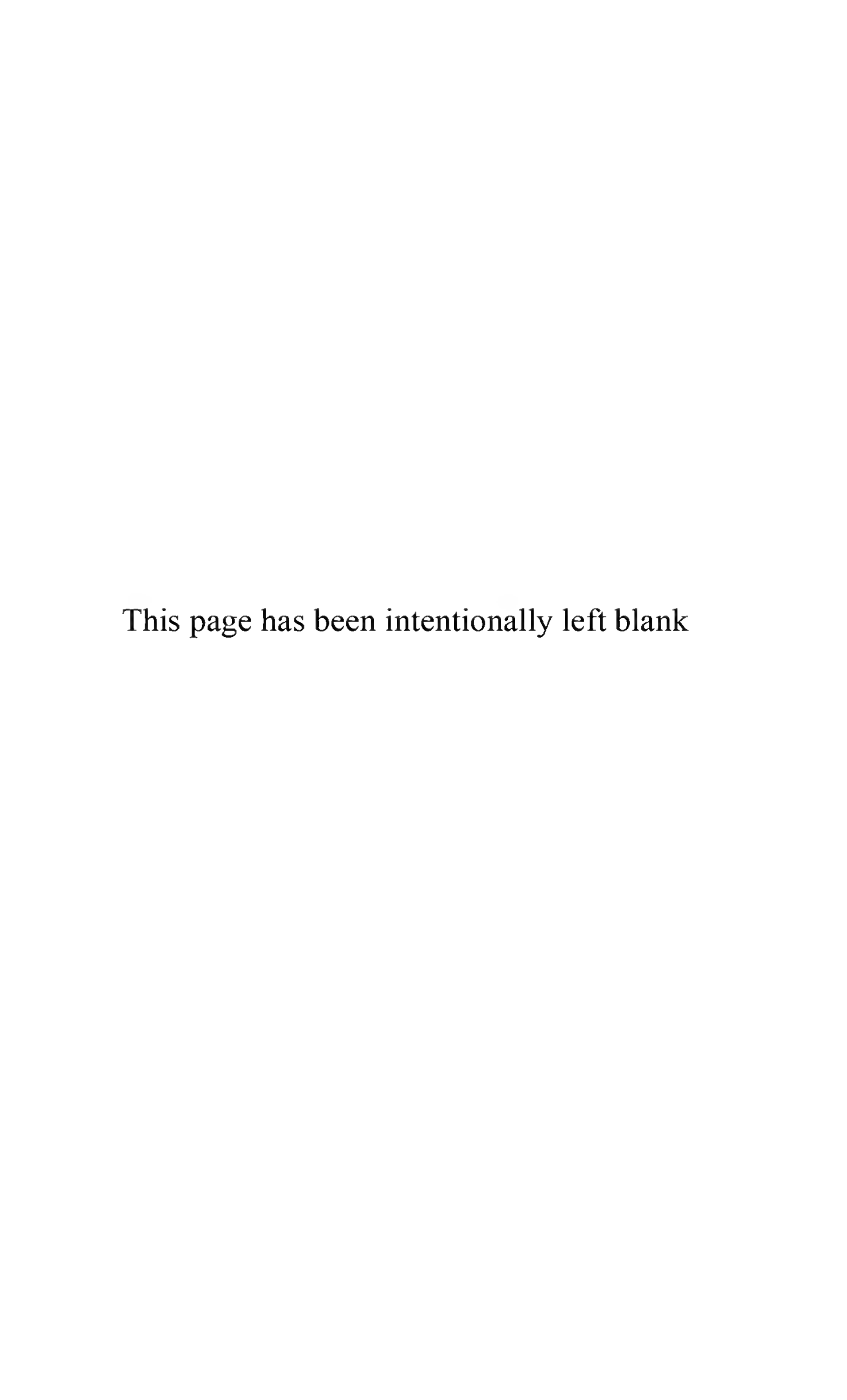
Fig. 5. Quecksilberpumpe zur künstlichen Respiration.


Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn.

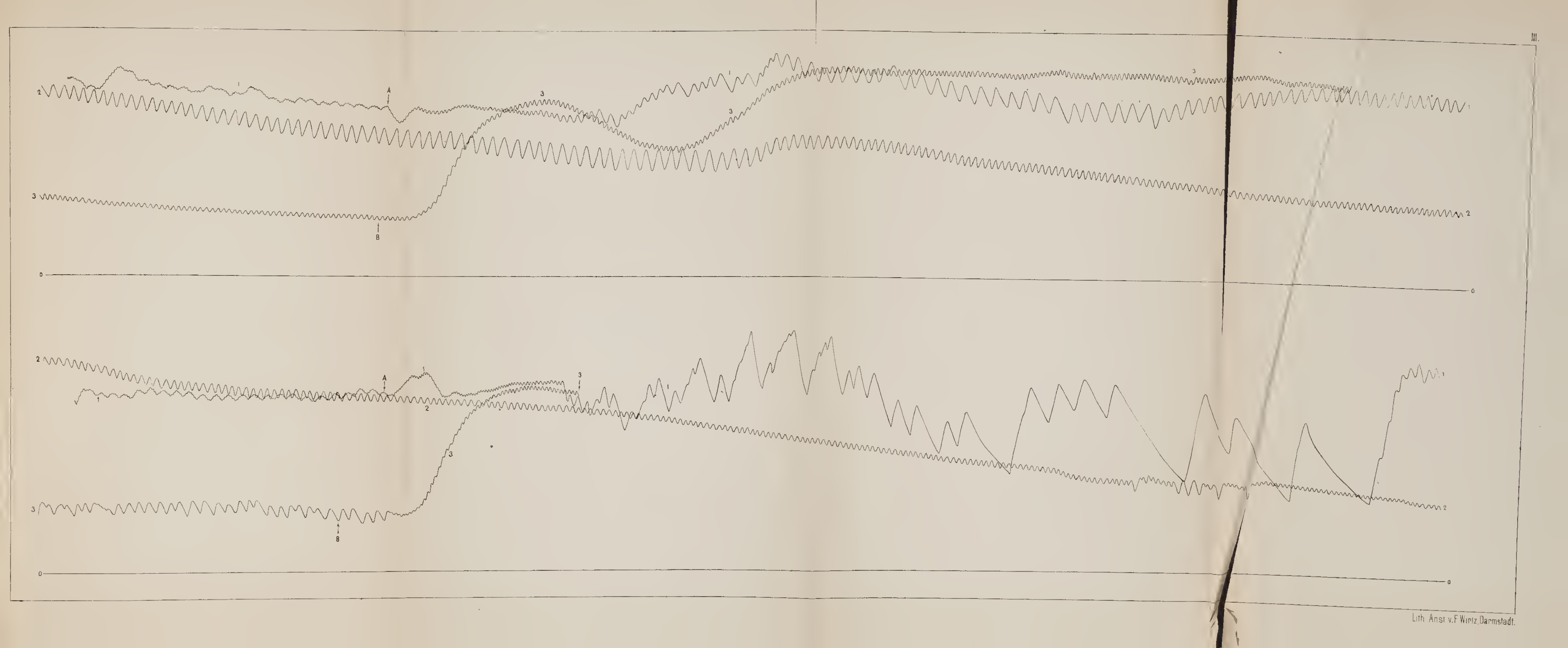


Lith Anst v F Wirtz, Darmstadt

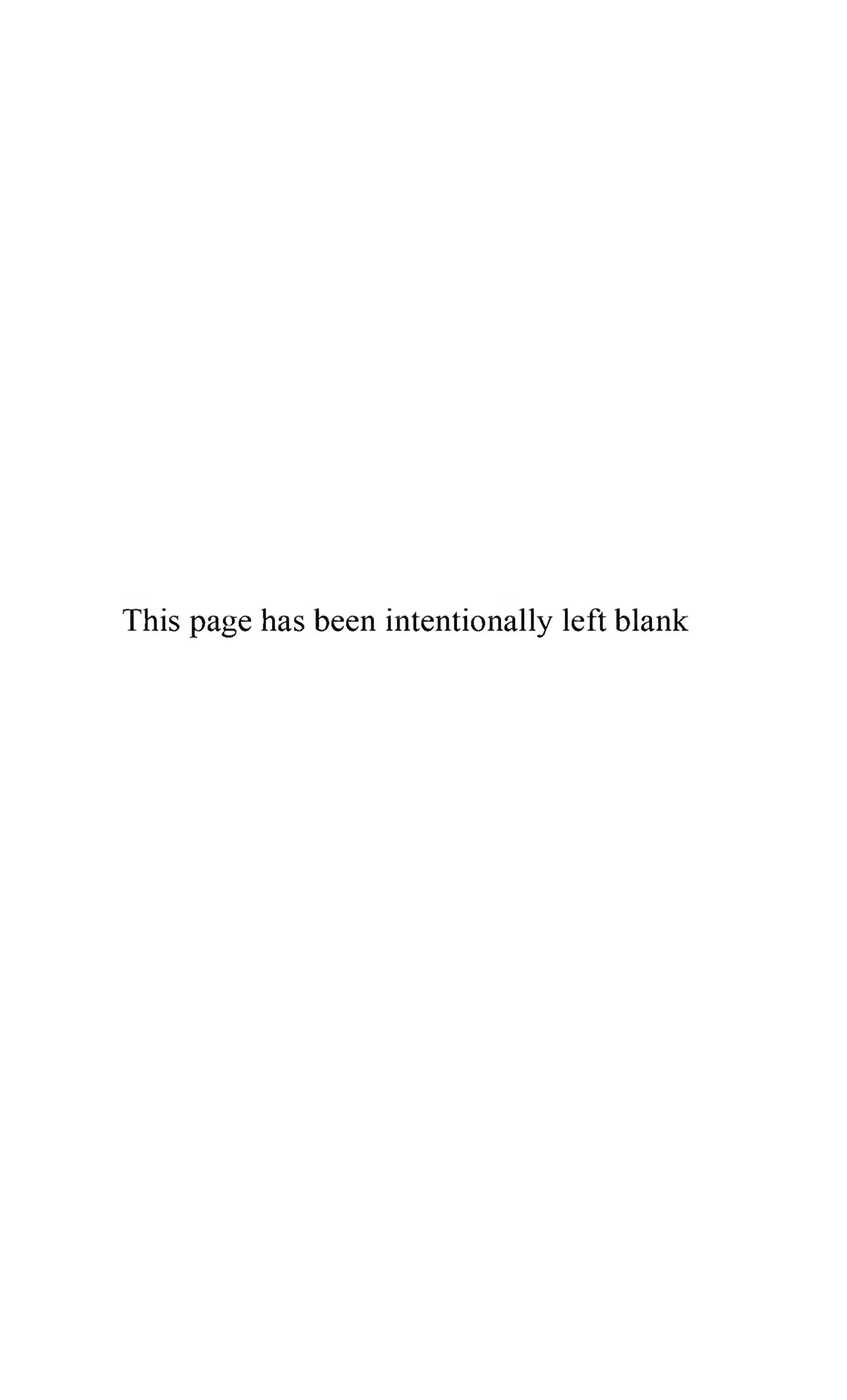

II.
A
A
0 + 60 mm
0 + 60 mm
A
Lith Anst v F Wirtz, Darmstadt



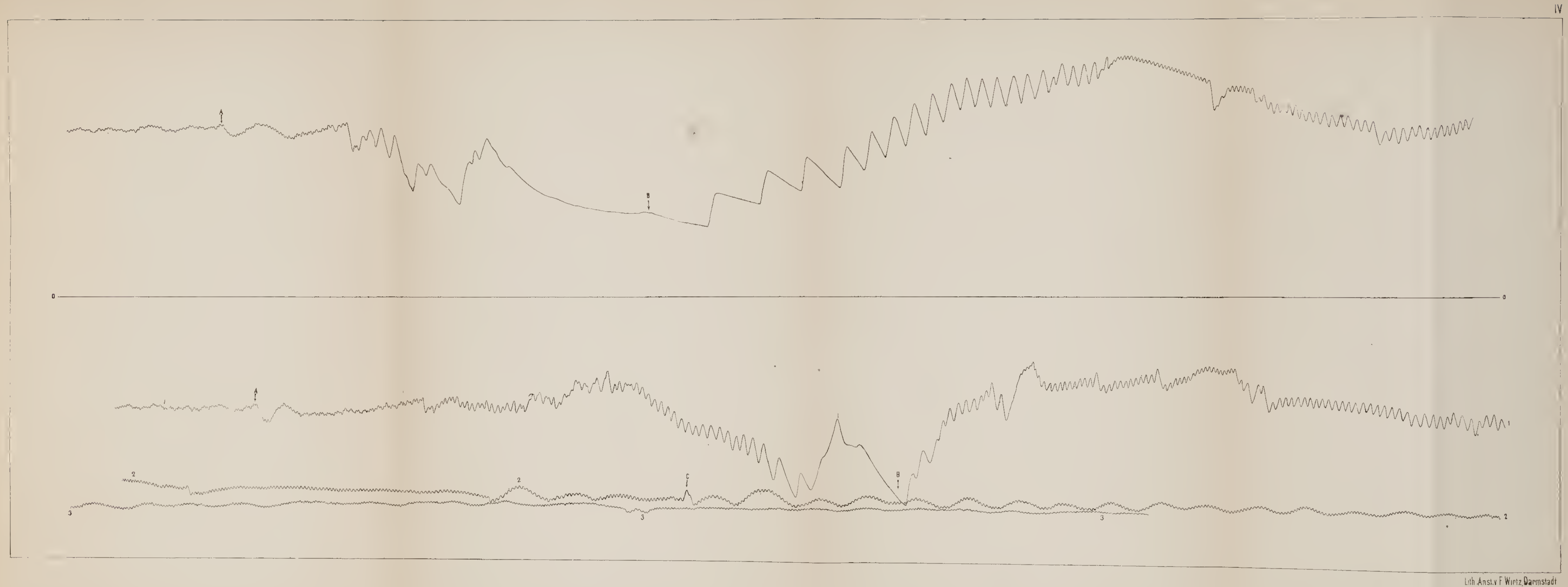
This page has been intentionally left blank



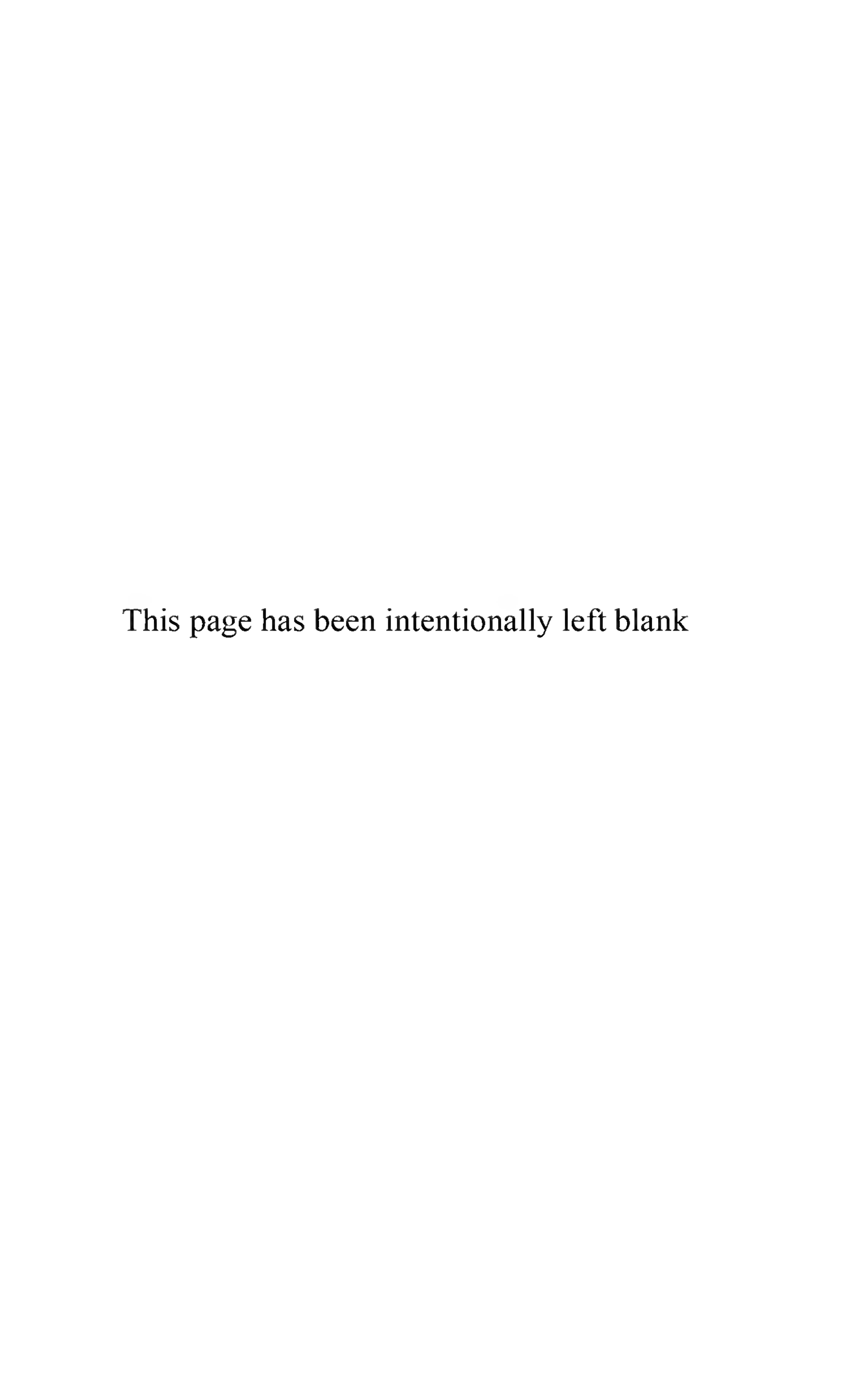
III.
1
2
A
3
B
0
Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.

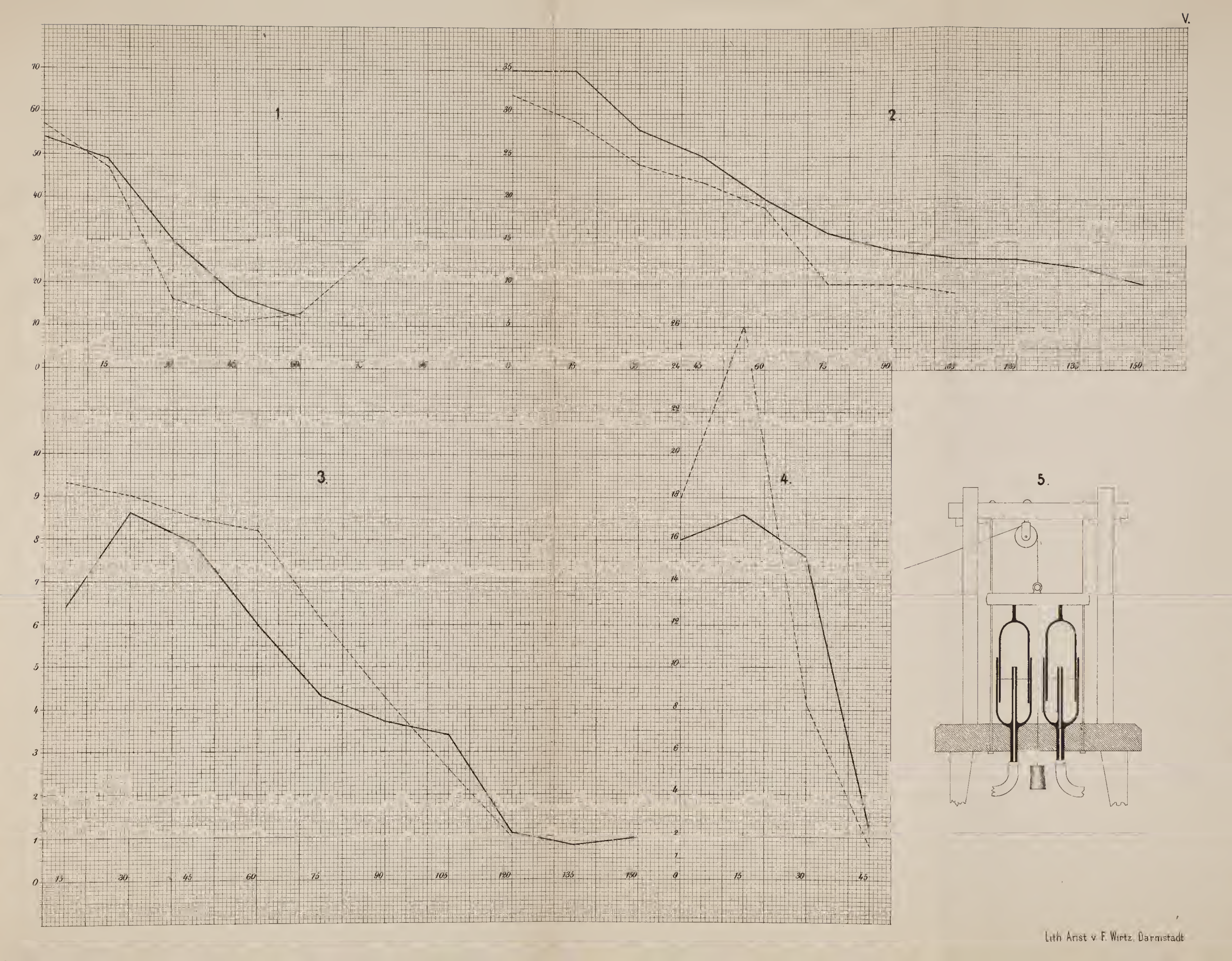


This page has been intentionally left blank

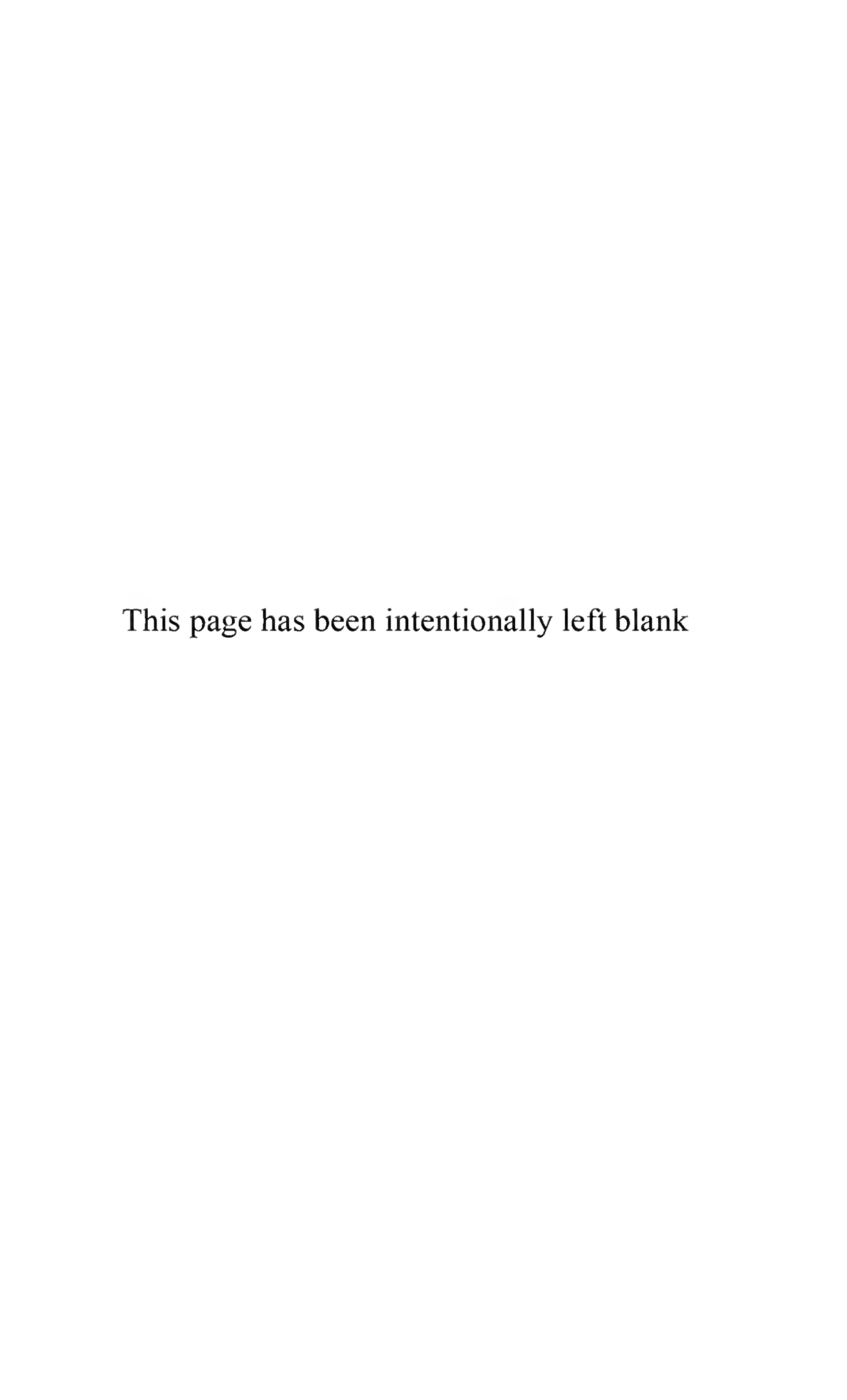


Lith Anst. v F Wirtz, Darmstadt


This page has been intentionally left blank



Lith Anst v. F. Wirtz, Darmstadt



This page has been intentionally left blank

